

Ueber
Raumwahrnehmung
beim
monocularen indirecten Sehen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der philosophischen Doctorwürde
der hohen philosophischen Facultät der Universität zu Leipzig

vorgelegt

von

Robert Müller

aus Gießen.

Mit zwei Figuren im Text.

Leipzig

Wilhelm Engelmann

1898.

36B

1/5

(Separat-Abdruck aus: Wundt, Philosophische Studien. Bd. XIV. Heft 3.)



I. Die Entwicklung der Lehre von der monocularen Tiefenwahrnehmung.

Im IX. Bande der »Philosophischen Studien« hat Kirschmann eine Theorie veröffentlicht, die bestimmte Eigenschaften der Zerstreuungskreise zur monocularen Raumwahrnehmung in Beziehung setzt. Diese Theorie hat deshalb besonderes psychologisches Interesse, weil sie eine Weiterbildung der Wundt'schen Theorie der complexen Localzeichen versucht. Da die Theorie trotz einer gewissen Complicirtheit manche schematische Züge in ihrer Ableitung enthält und ohne die Stütze zustimmender Beobachtungsergebnisse mitgetheilt ward, so war eine experimentelle Nachprüfung derselben erwünscht; diese Untersuchung ist der Hauptzweck der folgenden Arbeit. Da sich aber die Erörterungen, die auf das vorliegende Problem Bezug haben, ziemlich weit zurück verfolgen lassen und in geschlossener Kette zu unseren heutigen Anschauungen überführen, so scheint es mir nützlich, der Mittheilung der experimentellen Ergebnisse und ihrer theoretischen Verwerthung eine kurze Uebersicht über die Entwicklung der Anschauungen über monoculare Tiefenwahrnehmung im allgemeinen voranzustellen.

Die langdauernde Wirkung, welche die Lehre Descartes' auf die Entwicklung der Physiologie im siebzehnten und im vorigen Jahrhundert hatte, beruhte im wesentlichen darauf, dass er die

elementaren psychologischen Probleme in einer Weise auffasste, dass die Sonderung der sinnesphysiologischen Seite derselben von den mit ihnen verbundenen metaphysischen Fragen möglich war. Er entwickelt die Abhängigkeit der Bildschärfe von der Pupillenweite¹⁾, aber indem er meint, dass die geradlinigen Wege der Lichtstrahlen wahrgenommen würden, interpretirt er die Tiefenwahrnehmung durch eine speculative Construction, derart, dass die Entfernung eines Punktes binocular dadurch wahrgenommen werde, dass die Größe der Basiswinkel als solche unmittelbar empfunden und daraus durch eine geometrische Ueberlegung die Größe der Seiten des Dreiecks, dessen Spitze in dem wahrzunehmenden Punkte liegt, erkannt werde. Er behauptet durchgängig die Analogie der Tast- und Gesichtswahrnehmungen²⁾ und die Mitbeeinflussung unserer Entfernungsschätzung durch die Verschiebung des Netzhautbildes bei Bewegungen der Augen oder des Kopfes. Dieser Auffassung schließt sich auch Malebranche an, betont aber daneben die (früher angenommene) Formänderung des Bulbus durch die Spannung der Augenmuskeln bei der Accommodation, die Bildgröße und Bildschärfe als secundäre Hilfsmittel des Tiefensehens³⁾. Schärfer erfasste Berkeley das Wesen der Sinneswahrnehmung, indem er entwickelte, dass die Gesichtslinien gar nicht direct wahrgenommen werden könnten, sondern nur ein Hilfsmittel der Physiker oder Physiologen zur Construction des Netzhautbildes seien. Er unterscheidet die Wahrnehmung naher und entfernter Gegenstände; namentlich die Entfernung der ersteren werde durch die eigenthümliche Organempfindung, welche die Accommodation begleite, gemessen. Diese ist wohl auf die Formänderungen des brechenden Apparates, namentlich der selbst als muskulär gedachten Linse zu beziehen, während die eigentlichen Muskelempfindungen (the sensation of straining) wohl auf die Muskeln, welche sich am Augapfel ansetzen, bezogen werden müssen. Die Accommodationsempfindung ist als eine Tastempfindung aufzufassen⁴⁾, woraus aber keineswegs,

1) Descartes, Dioptrice. Cap. V. pos. VI.

2) ibid. Cap. VI. pos. IX. Situm (id est regionem in qua singulae objecti partes respectu corporis nostri locatae sunt) quod attinet, illum non aliter oculorum ministerio deprehendimus quam manuum. Ferner pos. XIII.

3) Malebranche, Recherche de la vérité. Liv. I. chap. 9.

4) Berkeley, Theory of vision vindicated. Sect. 66. (Works ed. by A. C., Fraser. vol. I.)

wie bei Descartes, auf eine Analogie der räumlichen Ordnung unserer Tast- und Gesichtsempfindungen geschlossen, vielmehr eine vollständige Unabhängigkeit und Incongruenz beider angenommen wird. Sie seien nur durch zufällige (arbitrary) Zeichen mit einander verknüpft. Für Tastobjecte bestünden diese Zeichen in Gesichtsempfindungen, als welche Berkeley nur die Farben gelten lässt, und in Muskelempfindungen¹⁾. Ebenso wie die Beziehungen zwischen räumlich geordneten Tastempfindungen und räumlich geordneten Gesichtsempfindungen sich nur durch die Erfahrung entwickelt haben, so entstammt auch die Verbindung der Muskelempfindungen mit Entfernungsschätzungen vollkommen der Erfahrung²⁾. Die anderen Hilfsmittel der Tiefenwahrnehmung hält er für zufällig und inconstant. Bei Besprechung der Bildschärfe findet sich eine primitive Darstellung der Entstehung der Zerstreuungskreise, der Bulbus ist in den drei Zeichnungen von gleicher Form, dagegen die Pupillenweite verschieden³⁾.

Sowohl die englische wie die französische Psychologie hielten den empirischen Ursprung der Tiefenwahrnehmung unter Zuhülfenahme dieser Factoren fest (Condillac)⁴⁾. Steinbuch⁵⁾ versuchte das Element des Räumlichen aus den Sinneswahrnehmungen herauszunehmen und den mit den Sinnesorganen verbundenen Bewegungsapparaten beizulegen. So sei das Maß des Räumlichen in Gesichtswahrnehmungen durch das Maß der Muskelcontraction bedingt, indem durch deren Abstufung und die damit verbundene Lageänderung der Netzhaut erst ein Lichteindruck über die Fläche derselben wandere. So wird die räumliche Sonderung der Netzhautelemente zu einer zeitlichen der Contractionen, die nothwendig sind, um auf verschiedene

1) Berkeley, Essay towards a new theory of vision. Sect. 56. Works ed. by A. C. Fraser. vol. I.

2) *ibid.* Sect. 17: But because the mind has, by constant experience, found the different dispositions of the eyes to be attended each with a different degree of distant in a object — there has grown a habitual or customary connexion between those two sorts of ideas.

3) *ibid.* Sect. 35.

4) Condillac betont in seiner Statuenpsychologie im *Traité des sensations* ganz vorwiegend den Einfluss der Muskelempfindungen, gemäß der damaligen begeisterten Reception der englischen Philosophie in Frankreich.

5) Steinbuch, Beiträge zur Physiologie der Sinne. Nürnberg 1811 (ziemlich selten. Münchener Staatsbibliothek. Zool. 1027).

Netzhautstellen denselben Eindruck wirken zu lassen. Diese Lehre stellt zum ersten Male ein continuirliches System von Beziehungen zwischen empfindenden Elementen der Sinnesorgane und dazugehörigen Bewegungen auf, wobei die Ordnung der Sinneseindrücke durch diese »Muskelideen«, wie Steinbuch sagt, erfolgen soll. Gegen diese Lehre, die als empiristische Vorläuferin der Localzeichentheorien aufzufassen ist, wendet sich Johannes Müller. Mit der Anwendung der Resultate der Kant'schen Vernunftkritik auf das Zustandekommen unserer Sinneswahrnehmungen, welche Müller einführte, erhob sich nothwendig der Widerspruch gegen die früheren Hypothesen, welche die vollkommene psychologische Ableitbarkeit der Raumvorstellungen behauptet hatten. Diese hatten zwar auch schon bei der Analyse des Wahrnehmungsactes bemerkt, dass unsere Vorstellungen nicht den Objecten der Außenwelt conform seien, sondern umgeformt würden durch die in unseren Sinnesorganen liegenden Bedingungen. Aber bei dem Bestreben einer einheitlichen Erklärung wurde dieser Gegensatz zu Gunsten sensualistischer oder idealistischer Systematisirung verwischt. Seine Geltendmachung knüpft an Kant an, der darauf hingewiesen hatte, dass in unserem Bewusstsein Elemente vorhanden seien, welche nicht der Erfahrung entstammten. Indem Kant zunächst das Ding, wie es in unserer Wahrnehmung auftritt, von dem außer uns existirenden Objecte unterscheidet und alle positiven Bestimmungen dem ersteren beilegt, den Begriff des Dinges an sich aber zu einem Grenzbegriffe umformt, legt er zum ersten Male jenen Gegensatz klar und entwickelt im wesentlichen von ihm aus das Wesen der Erfahrung. Diese ist die Quelle unserer Erkenntniss, aber nicht die Bedingung derselben, was er damit beweist, dass in unserem Bewusstsein Inhalte auftreten, die wegen ihres unbedingt nothwendigen Charakters nicht jener entstammen könnten, die nur relative Gewissheit verleihe. Solche Inhalte sind mathematische und mechanische Sätze gewisser Art, für die es Kant charakteristisch findet, dass sie in Form synthetischer Urtheile auftreten. Die logische Seite dieser Lehre ist wohl überwunden; aber noch hält man in der Regel an der Ableitung derjenigen Functionen fest, welche auf die Empfindung im Augenblicke ihrer Entstehung einwirkend und mit ihr verschmelzend die Ordnung und den Verlauf derselben bewirken. Als solche Anschauungsformen wies Kant für

die Sinneswahrnehmung den Raum und die Zeit nach, die vollständig unabhängig von einander seien. In einem Punkte tritt hier der übermächtige Einfluss der aristotelischen Metaphysik hervor, bei der Entscheidung der Realitätsverhältnisse: Kant schreibt dem Raume Realität in unserer Anschauung, Idealität in Beziehung auf die Dinge zu¹⁾.

Die kantische Erkenntnisslehre, die vom Subjecte ausgeht und dessen Bewusstseinsinhalte in den Vordergrund stellt, bot bei ihrer Einwirkung auf die Sinnesphysiologie, der die inductive Prüfung der empirischen Seiten der Fragen zukam, dieser einen Ausgangspunkt, von dem aus Purkinje die subjectiven Gesichtspänomene erforschte und dann weitergehend Johannes Müller die Lehre von der specifischen Energie der Sinne und von der Ursprünglichkeit der Raumanschauung entwickelte. Da er eine andere als eine physiologische Betrachtungsweise psychologischer Phänomene bestritt, musste ihm die Raumanschauung auch psychisch als etwas gegebenes gelten. So kann der Begriff des Raumes nach ihm nicht aus der Erfahrung erworben werden, sondern ist ebenso wie die Zeit eine nothwendige Voraussetzung für alle Empfindungen. Sobald empfunden wird, werde auch in jenen Formen empfunden. »Was aber den erfüllten Raum betrifft, so empfinden wir überall nichts, als nur uns selbst räumlich, wenn lediglich von Empfindung, von Sinn die Rede ist, und soviel unterscheiden wir von einem objectiven, erfüllten Raum durch das Urtheil, als Raumtheile unserer selbst im Zustande der Affection sind, mit dem begleitenden Bewusstsein der äußeren Ursache der Sinneserregung. . . Die Netzhaut sieht in jedem Sehfelde nur sich selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung im Zustand der Affection; sie befindet sich selbst in der größten Ruhe und Abgeschlossenheit des Auges räumlich dunkel«²⁾. Die Ausdehnung in der Fläche empfindet unsere Netzhaut unmittelbar aus dem Lageverhältniss

1) Man möchte wohl sagen, dass jede derartige metaphysische Ueberlegung als ein heterogenes, auszuschaltendes Element der Kant'schen Erkenntnistheorie zu betrachten ist. Eine Lösung der erkenntnistheoretischen von den metaphysischen Ueberlegungen scheint an den Fortschritt der Logik, und zwar die Entwicklung des Algorithmus derselben gebunden zu sein und hierin die Bedeutung des letzteren zu liegen.

2) Johannes Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1826. S. 54.

ihrer erregten Punkte. Soweit die dritte Dimension nicht aus den Eigenthümlichkeiten des binocularen Sehens entspringt, rührt sie von secundären Motiven, namentlich den veränderten Netzhautbildern bei Bewegungen her. Da aber zur Erkenntniss dieser Veränderungen die Netzhautbilder mit einander verglichen werden müssen, so ist die Tiefenwahrnehmung auf Urtheilsacte zurückzuführen. Da er den Augenbewegungen nur die Ausdehnung des Sehfeldes zum allgemeinen Sehraume zuschreibt, so wendet er sich gegen Steinbuch, und entwickelt, dass dann die Raumanschauung in unzulässiger Weise die Zeit voraussetzen würde.

Sehr fruchtbar war die Discussion, die sich an Müller's Theorie des binocularen Sehens anschloss. So führte Panum die binoculare Tiefenwahrnehmung als eine specifische Empfindung der Doppelnethaut ein, ebenso wie Müller bestrebt, psychologisch-rationalistische Raumtheorien zu Gunsten psychophysischer oder damals physiologischer zurückzudrängen. Im Kampfe gegen die angeborene Identität symmetrisch gelegener Netzhautpunkte entwickelte sich namentlich durch Donders, gestützt auf Wheatstone's Versuche, ferner durch Brücke die Kenntniss der correspondirenden Netzhautpunkte und des stereoskopischen Sehens, welche in der mathematischen Deduction des Horopters durch Helmholtz und anderseits durch Hering ihren Höhepunkt erreichte. Während Panum die Tiefenwahrnehmung als etwas betrachtet, was nur dem binocularen Sehen zukäme, gestattet die Lehre Hering's, nach der die Tiefenlocalisation ebenso wie Helligkeits- und Farbenempfindung (mit den Componenten der letzteren) eine specifische Function der percipirenden Netzhautelemente und in jeder von außen stammenden Erregung als Factor enthalten ist, eine Discussion auch des monocularen Tiefensehens. Hering entwickelte seine Theorie zuerst für binoculares Sehen und behauptete die Gleichheit dieser Tiefenwerthe, die man sich fast wie Coordinaten denken kann, für correspondirende Netzhautpunkte. Eine Betrachtung seiner Theorie lässt dieselbe aber als wenig brauchbar erscheinen. Während nämlich Hering durch seine Theorie der Farbenempfindungen mit den Gegenfarben und der Hypothese der chemischen Processe in der Sehsinns substanz wesentlich in der Sinnesphysiologie zu der Entwicklung beigetragen hat, die uns mit Recht immer mehr von der Lehre der specifischen Empfindungen und damit von Johannes Müller

und Helmholtz entfernt, hält er mit dieser Tiefentheorie für Gesichtswahrnehmungen an einem Nativismus fest, der im wesentlichen einer wenig zutreffenden Auffassung der Aufgaben der Physiologie entsprungen ist. Sie genügen uns ebenso wenig, als wir uns bei der Annahme gesonderter Faserarten, und zwar merkwürdigerweise dreier, beruhigen, die specifisch erregt werden sollen, so dass sie die gesonderte Empfindung der physiologischen Grundfarben vermitteln. Aber auch abgesehen davon, vermag seine Lehre keinen Aufschluss davon zu geben, in welcher Weise aus den gesonderten Tiefenwerthen die dritte Dimension als Continuum entsteht. Zudem wendet Schoeler¹⁾ ein, sie stehe überhaupt im Widerspruch mit den Thatsachen, indem man z. B. bei Schielenden beobachten könne, dass nicht nur Verschmelzung von Doppelbildern ohne Relief, sondern häufig sogar nur Höhenempfindung vorhanden sei. Daraus folgt, dass jene Werthe gar nicht correspondirenden Netzhautpunkten inhäreren, sondern dass die räumliche Ordnung anderen Motiven entspringen muss. Schoeler ist dabei so vorsichtig, sogleich den immerhin möglichen Einwand zurückzuweisen, es handle sich hier beim Schielenden um einen Defect wie etwa in dem Farbensysteme der Dichromaten, indem er sagt, dass durch die Schieloperationen jene Ordnung hervorgerufen werden, wie andererseits auch verschwinden könne. Ferner verdeckt Hering's Theorie eine Anzahl Lücken und vermag nicht den Einfluss gewisser Augenbewegungen aus tertiären Stellungen zu erklären, auf die gestützt Donders Hueck's Theorie der Raddrehungen widerlegte. Diese Einwände, die sich wohl noch vermehren ließen, lassen uns Hering's Theorie ablehnen.

Die Annahme solch' eigenartiger Tiefenwerthe rührt offenbar daher, dass die Raumanschauung als etwas vollständig eigenartiges aufgefasst wird, zu dessen Erklärung oder besser Analyse nur etwas durchaus gleichartiges, sie implicite schon enthaltendes, benutzt werden dürfe. Mit dieser Anschauung brechen die psychologischen Reihentheorien der Raumwahrnehmung, besonders die vollkommeneren Formen derselben, die Localzeidentheorien. Die Reihentheorie Herbart's dient eigentlich dazu, in wieder anderer Form seine Lehre von der

1) Graefe's Arch. f. Ophthalmol. Bd. IX. 1873. S. 52.

Einheit der Seele zu entwickeln¹⁾. Ausgehend von der objectiven Realität der Anschauungsformen scheidet er Wahrnehmung und Empfindung, um letztere für etwas rein subjectives und intensives zu erklären, während die Wahrnehmung dazu dient, die Objecte voneinander und von dem Subjecte zu unterscheiden. Der Raum wird als Wahrnehmung aufgefasst und muss daher aus den Empfindungen construirt werden. Darin stimmt Herbart mit Berkeley überein, dass er sämtliche Gesichtsempfindungen für Farbenempfindungen hält. Jede Netzhautstelle liefert eine gesonderte Empfindung, aber diese verschmelzen alle miteinander in der Einheit der Seele, so dass das ruhende Auge keinen Raum wahrzunehmen vermag²⁾. Beim Sehen dagegen wird diese Verschmelzung aufgehoben, indem durch das Wandern des Mittelpunktes der Sehfläche eine Anzahl einander ungleicher Vorstellungen ausgelöst wird. Diese beeinflussen sich aber gegenseitig in gesetzmäßiger Weise, und indem eine theilweise Verschmelzung durch die gemeinsam in ihnen enthaltenen Theilelemente möglich ist, entstehen continuirliche Gebilde vom Charakter von Reihen, deren Glieder nach der Stärke, mit der sie percipirt werden, geordnet werden. Die eine dieser Reihen, welche das Merkmal trägt, dass sie in beliebiger Richtung durchlaufen werden kann, ist der Raum, die andere, eindeutig in ihrer Richtung bestimmte Reihe ist die Zeit. Herbart verfällt hier in den Fehler Steinbuch's, dass er in der Succession der aufeinanderfolgenden, theilweise zu verschmelzenden Vorstellungen die Priorität der Zeitform vor der Raumform behauptet. Er bemerkt aber diesen Fehler und sucht ihm dadurch zu begegnen, dass die Glieder eines derartigen Vorstellungsverlaufes so schnell aufeinander folgten, dass ihre gesonderte Existenz gar nicht ins Bewusstsein trete. Herbart versucht dann, aus den gesetzmäßigen Beziehungen der Vorstellungen, die wie Kräfte aufeinander wirken sollen, den Charakter dieser Reihen im einzelnen mathematisch zu bestimmen³⁾. Die Theorie fand wegen ihres Zusammenhanges mit Herbart's Seelenlehre und seiner mathematischen Psychologie nur soweit Anklang, als diese sich verbreiteten.

1) Vergl. zum Folgenden W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. 1862. S. 101.

2) Herbart, Psychologie als Wissenschaft. Werke, ed. Hartenstein. VI. Bd. S. 120.

3) Herbart, a. a. O. S. 123.

An Herbart schließt sich Th. Waitz an, der die Bildung der Raumwahrnehmung mit Hülfe des Gesichtssinnes aus den Intensitätsverschiedenheiten der Empfindung an verschiedenen Netzhautstellen und der Aenderung der Erregung derselben Netzhautstellen durch Ermüdung ableitet¹⁾. Dies bestreitet Lotze und behauptet, es bedürfe zur Bildung der Raumvorstellung secundärer Hilfsmittel, die er Localzeichen nennt. Die Localzeichentheorien sind insofern alle empiristisch, als diese Zeichen erst durch die Erfahrung in ein System gebracht, zur Bildung und Bethätigung der räumlichen Ordnung führen; sie stehen dabei in keinem Widerspruch zu Kant, indem das apriorische Gegebensein der Anschauungsformen keineswegs die Frage nach der psychologischen Entwicklung und Bethätigung derselben ausschließt, aber die Erkenntnistheorie gibt uns die Kriterien der Gültigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit, und der Grenzen unserer psychologischen Interpretation. Das Wort Localzeichen bedeutet ursprünglich in der Mathematik die Merkmale eines Gliedes einer Potenzreihe, welche die Stellung desselben innerhalb der Reihe bestimmen²⁾. Das Princip derselben wurde schon von Meißner in der Physiologie des Sehens benutzt, aber erst von Lotze wurde der Ausdruck übernommen und umgestaltet. Danach bedeuten die Localzeichen diejenigen Momente unserer Empfindungen, durch die die Reizung eines Netzhautpunktes von der aller übrigen unterschieden werden kann und wird³⁾. Lotze meint nun, das Motiv zur Bildung des Gesichtsraumes sei in den localen Nebenbedingungen der Erregung einer Netzhautstelle gegeben⁴⁾. Mit derselben sei eine be-

1) Waitz, Lehrbuch der Psychologie. § 20—27; vergl. Wundt, Beiträge z. Theorie d. Sinneswahrnehmungen.

2) Klügel, Mathemat. Wörterbuch. III. S. 480 f.

3) Vergl. Helmholtz, Physiolog. Optik. 1. Aufl. S. 530.

4) Lotze, Medicinische Psychologie oder Physiologie d. Seele. Leipzig 1852. S. 355: »Sowohl dies also, dass die gleichen Empfindungen überhaupt aus einander treten und neben einander existiren, als auch dies, dass sie bestimmte räumliche Lagen gegen einander einnehmen, bedarf besonderer Motive. Sie können nur darin liegen, dass locale Nebenbestimmungen, die sich an die Affection jeder Netzhautstelle knüpfen, das Zusammenfallen der Empfindung in eines verhindern, und dass ferner diese Localzeichen ein so gegliedertes System bilden, dass durch sie die Empfindungen in abgestufte Unterschiede und Verwandtschaften geordnet werden, die, unabhängig von ihrer Qualität, sich in der räumlichen Anschauung als gleich abgestufte Entfernungsgrößen der Empfindungsproducte von einander

stimmte, unbewusste Reflexbewegungsintention verbunden, die Lotze auch kurz zur Erklärung der Entstehung der Localisation benutzt¹⁾. Es tritt also die Intention der Bewegung an die Stelle der durch die Versuche Dove's, die gegen Brücke's Theorie der Augenbewegungen zur Verschmelzung beim binocularen Sehen gerichtet waren, ausgeschlossenen willkürlichen Bewegung. Lotze kommt zur Annahme dieser Bewegungsanregungen durch die Beobachtung, dass bei jeder Erregung peripherer Netzhautstellen das Bestreben vorhanden ist, den Eindruck auf die Stelle des deutlichsten Sehens, in die fovea, überzuführen. Sie erhält etwas bestechendes durch die elegante Ableitung des Aufrechtsehens die er mittelst seiner Localzeichentheorie gibt²⁾. Indessen vermag die einseitige Hervorhebung der rein motorischen Momente, die, wie er annimmt, in jeder Netzhauterregung mitenthalten seien, ebensowenig wie die Betonung der rein sensiblen Unterschiede der Erregung, wie sie Waitz vertritt, unsere Raumwahrnehmung zu erklären.

Dann wurden gegen die Localzeichentheorien eine Anzahl Einwände geltend gemacht, die, wenn sie vollkommen gültig wären, zu anatomisch fundirten, nativistischen Anschauungen zurückführen würden. Die Localzeichen haben den Zweck, in der Analyse unserer Empfindungen eine extensive Ordnung durch eine intensive zu ersetzen, indem jeder räumlichen Anordnung gegebener Objecte in der Seele eine qualitative Ordnung unräumlicher Eindrücke entsprechen soll. Da aber die Localzeichen selbst die Merkmale der räumlichen Ordnung in sich tragen, leisten sie in dieser Form um nichts mehr, als die Annahme, dass die topographische Sonderung und Ordnung der Nervenfasern sowohl in ihrer peripheren Ausbreitung, wie in ihrer centralen Anordnung das Motiv der räumlichen Ordnung der durch sie vermittelten Empfindung enthalten. Zur Anwendung der Localzeichen auf die Gesichtswahrnehmung führte die prätendirte Identität des Gesichts- und des Tastraumes³⁾, für welch' letzteren

und als relative Lagen derselben geltend machen. Wir haben schon früher geäußert, dass wir die Herstellung dieser Localzeichen durch ein System von Bewegungen ausgeführt denken«.

1) a. a. O. S. 358 ff.

2) a. a. O. S. 363—369.

3) Hueck, Ueber den Raumsinn der Netzhaut. Müller's Archiv. 1850. S. 82—97.

die Localzeichentheorie in der Lehre von den Empfindungskreisen von E. H. Weber vorbereitet wurde¹⁾. Wenn wir als Localzeichen Bewegungsintentionen wahrnehmen, so entsteht die Frage nach dem Mechanismus der Verbindung von Erregung und Bewegungsantrieb. Bei diesem Punkte wendet sich Ueberhorst²⁾ gegen Lotze: »Hier denkt Lotze nicht an die Nothwendigkeit, zur Begründung einer festen Association der Farben mit Bewegungsempfindungen locale Unterschiede der ersteren annehmen zu müssen, da er die Verknüpfung durch den organischen Process für hinlänglich begründet ansieht. Darauf ist zu bedenken zu geben, was wir denn eigentlich in den Farben und Bewegungsempfindungen besitzen; ich meine, nicht mehr, als auf der einen Seite eine Reihe der ersteren, auf der anderen eine Reihe der zweiten, dass darin aber noch nicht die geringste Andeutung enthalten ist, welche Glieder beider Reihen zusammengehören.« Indem dann Ueberhorst die Localzeichen psychologisch abzuleiten sucht, setzt er die Maculae von vornherein als identisch voraus, um dann mittelst der Localzeichen das Einfachsehen mit correspondirenden Netzhautstellen abzuleiten. Die Annahme einer apriorischen Identität der Maculae ist aber unstatthaft, und ihr widerspricht auch das Fehlen eines macularen Sehens bei Schielenden, bei denen weder ein neues Identitätsverhältniss, noch gar ein asymmetrisches maculares Sehen sich entwickelt und doch körperliches Sehen stattfinden kann. Ueberhorst's Voraussetzung würde wohl zu einem Nativismus zurückführen, der sich etwa in der Annahme eines physiologischen centralen Mechanismus verbirgt. Wenn man also an die Localzeichentheorien die Anforderung stellt, eine keiner anderen Voraussetzungen, namentlich keiner erkenntnistheoretischen bedürfende Ableitung der Raumanschauung zu ermöglichen, so vermögen sie dies nicht zu leisten.

Aber auch innerhalb der Grenzen, in denen sie von Werth und Gültigkeit sein können, lassen sich noch eine Anzahl Einwände gegen die Lotze'sche Form der Localzeichentheorie aufstellen. So ist es nicht ersichtlich, wie die Menge von Bewegungsintentionen, die

1) Ernst Heinrich Weber in Wagner's Handwörterb. f. Physiol. III, 2. S. 530.

2) Ueberhorst, Entstehung der Gesichtswahrnehmung. S. 164.

von allen Netzhautstellen gleichzeitig ausgelöst werden, ohne weitere Hilfsmittel, die etwa in der Art der retinalen Erregung liegen mögen, unterschieden werden sollen, und in welcher Weise umgewandelt sie ins Bewusstsein treten, um in Reihen geordnet die Art der Empfindungslocalisation zu bewirken, welche die Grundlage der Entwicklung der Raumanschauung ist. So wird auch von Schoeler bestritten, dass die Localzeichen auf der Netzhaut hinsichtlich ihrer Ausbildungsschärfe eine stetige Function der Coordinaten der Netzhautpunkte seien¹⁾.

In einer umfangreichen, schönen Arbeit über das binoculare indirecte Sehen sucht sodann W. Schoen²⁾ auf ausgedehnte Versuche gestützt, die Localzeichen durch Unterschiedsmerkmale zu ersetzen, wobei er die flächenhafte räumliche Anordnung der Netzhaut-eindrücke als solcher von Anfang an als vorhanden annimmt, während er gerade die Tiefenwahrnehmung aus der Erfahrung mit Hülfe jener Unterschiedsmerkmale entspringen lässt. Dieselben lassen sich etwa in folgender Weise zusammenfassen³⁾: In jedem einzelnen Auge ist die Erregbarkeit eines auf der nasalen Retina gelegenen Punktes höher, als die eines gleichweit von der Macula auf der temporalen Retinahälfte gelegenen⁴⁾. Auch die von correspondirenden Punkten beider Augen bei gleichen objectiven Reizen gelieferten Eindrücke sind nicht gleichwerthig. Derjenige, welcher auf der inneren Retina des gleichseitigen Auges liegt, wird intensiver empfunden⁴⁾. Ein fixes, nicht zu verkennendes Localzeichen, ähnlich dem, wodurch zwei auf derselben Netzhaut nebeneinander gelegene Eindrücke sich unterscheiden, unterscheidet die Eindrücke identischer Stellen nicht von einander⁵⁾. Die Discussion dieser Sätze würde uns ganz aufs Gebiet binocularen Sehens überführen, immerhin verdienen die obigen Gesichtspunkte Erwähnung.

In der einseitigen Betonung der rein motorischen Elemente für die Entstehung unserer Raumvorstellung schließt sich an Lotze die englische Associationspsychologie an, wie sie im wesentlichen durch Thomas Brown, James Mill, John Stuart Mill und Herbert Spencer vertreten wird; für uns kommt hauptsächlich Bain

1) Arch. f. Ophthalmol. XIX, 1. 1873. S. 12. 2) ibid. XII, 4. XXIV, 1. XXIV, 4. 3) ibid. XXII, 4. S. 39. 4) ibid. XXIV, 1. S. 34.
5) ibid. XXIV, 4. S. 64.

in Betracht¹⁾, der wie Steinbuch die Muskelempfindungen allgemein zur psychologischen Ableitung der Raumvorstellung benutzt. Er unterscheidet dieselben in Druck- und Bewegungsempfindungen, von denen die ersteren nur die Zeitvorstellungen ergeben, während die Bewegungsempfindungen, die an und für sich auch nur Zeitvorstellungen liefern, durch die Association mit anderen Vorstellungen das wesentliche und primäre Element der Raumvorstellung sind. Diese anderen associativen Factoren, die sich in verschiedener Weise damit combiniren können, sind die Tastvorstellungen, die so die Hilfsmittel bilden, Raum und Zeit zu unterscheiden. Indem die complexen Werthe aus Bewegungs- und Tastempfindungen eine Reihe bilden und diese immer wiederholt durchlaufen werden kann, entsteht die Constanz der Raumanschauung. Nachdem so die elementaren Formen derselben abgeleitet sind, untersucht Bain die Verbindung von Muskelempfindungen mit Gesichtsempfindungen²⁾. Hier werden die Bewegungsempfindungen ebenfalls nach Geschwindigkeit, Dauer und Richtung der Bewegung unterschieden, und diese können sich in verschiedener Weise mit den rein optischen Erregungen verbinden. Die Raumvorstellung wird im wesentlichen nicht aus den Gesichtswahrnehmungen abgeleitet, das ruhende ausgedehnte Object bedeutet nur eine Reihe von Bewegungsempfindungen, die mit einer Reihe coordinirter Gesichtseindrücke verbunden werden. So entstehen Linien- und Flächenvorstellungen durch Bewegungsreihen wie beim Tastsinn. Die dritte Dimension dagegen ist den beiden ersten nicht gleichartig, indem die zu ihrer Bildung benutzten Accommodationsempfindungen, Ciliarmuskelempfindungen, die mit dem Netzhautindruck sich verbinden und als Quelle der Tiefenwahrnehmung angesehen werden, anderer Natur sind als die Empfindungen der äußeren Augenmuskeln.

Diese Theorie ist insofern zu weitgehend und führt uns zu den Localzeichentheorien zurück, als das ruhende Auge zum mindesten eine vollkommen flächenhafte Raumperception besitzt und es wahrscheinlich ist, dass die Netzhauterregungen als solche auch beim monocularen Sehen Factoren in sich tragen, die zur Bildung einer allerdings ungenauen Localisation nach der Tiefe benutzt werden können³⁾. Vor einer Ueberschätzung der Muskelempfindungen hat auch schon Lotze

1) Alexander Bain, *The senses and the intellect*. 2. Aufl. S. 370—378.

2) *ibid.* S. 242—254.

3) Vergl. C. Stumpf, *Ueber den Ursprung der Raumvorstellung*, S. 64.

gewarnt¹⁾. »Man ist geneigt, auch den wirklichen Bewegungen des Auges und den Muskelgefühlen, die sie uns veranlassen, eine große Bedeutung für die Entwicklung der Raumanschauung zuzuschreiben. Ohne dies im allgemeinen zu leugnen, müssen wir uns doch der Ueberschätzung dieses beihelfenden Elementes widersetzen, von dem man manches erwartet hat, was es zu leisten unfähig ist. Man begegnet zuweilen der Meinung, dass das ruhende Auge nur einen einzigen Punkt sehe, und dass erst die Bewegung der Augenachse dazu führe, die Empfindung, die man durch sie erlangt, neben jener ersten räumlich zu gruppieren. In jedem Augenblicke übersieht jedoch das bereits gebildete Auge ein ausgedehntes Sehfeld.«

Dagegen wurde eine neue Form der Localzeichentheorie durch Wundt entwickelt. Dieser bespricht zunächst den innigen Zusammenhang zwischen den rein optischen Empfindungen und der räumlichen Ordnung derselben, die anscheinend so enge mit jenen verknüpft ist, dass kein weiteres Geschehen dazwischen zu liegen scheint, und doch ist damit nicht gesagt, dass diese Ordnung ein untrennbares Attribut der retinalen Erregungen sei. Es ist vielmehr zu untersuchen, ob psychische Vorgänge, die erst in der individuellen Entwicklung sich jedesmal vollziehen müssen, die Verknüpfung der Raumform mit den Gesichtsempfindungen bewirken. Nur in letzterem Falle sind wir berechtigt, von einer Raumwahrnehmung zu reden, während bei einer rein physiologischen Complexion extensiver und intensiver Beziehungen in unseren Gesichtseindrücken wir nur von einer Raumempfindung reden dürften²⁾.

Letzteres wurde implicite von den Physiologen behauptet, die annahmen, dass die räumliche Ordnung der empfindenden Elemente den Ursprung der Raumvorstellung in sich enthalte. So geht Wundt von der Kritik der Anwendung der Theorie der Empfindungskreise Ernst Heinrich Weber's auf den Raumsinn der Netzhaut aus, um zu zeigen, dass die Ausfüllung des blinden Flecks, und die Möglichkeit der Uebung, wie sie Volkmann bewiesen hatte,

»Der erregte optische Inhalt ist immer nothwendig bei jeder Gesichtswahrnehmung vorhanden, während Bewegungen und Bewegungsgefühle, wenigstens so lange das Gesichtsfeld dasselbe bleibt, nicht immer und nicht nothwendig vorhanden sind.«

1) Lotze, Medicin. Psychologie. 1852. S. 381.

2) W. Wundt, Beiträge zur Theorie d. Sinneswahrnehm. 1862. S. 145—170.

mit der Weber'schen Theorie, dass Empfindungen dann räumlich gesondert werden, wenn unerregte Empfindungskreise zwischen den erregten gelegen sind, nicht vereinbar sei. Wir werden uns nicht dadurch der räumlichen Sonderung von Eindrücken bewusst, dass wir die dazwischenliegenden empfindenden Stellen als unerregt empfinden, wenn auch dieser Fall in der Erfahrung verwirklicht sein kann. Vielmehr wirkt dabei ein psychischer Factor mit, und es wird die räumliche Ordnung des Sehfeldes erst durch psychische Processe nach Art associativer Synthesen aus den Empfindungen entwickelt, wozu der Anlass in den besonderen Qualitäten der Empfindung liegt. Als solche behauptet Wundt die Qualitäten der Gesichtsempfindung und die Qualitäten der mit den Augenbewegungen verbundenen Bewegungsempfindungen (Muskel- und Tastempfindungen). Die Qualitätsverschiedenheiten der Gesichtsempfindungen lassen sich nach zwei Richtungen gliedern, nach einer objectiven, abhängig von der physikalischen Beschaffenheit des Reizes (Wellenlänge und Amplitude spectraler Farben, bei Pigmenten Absorptions- und Reflexionsverhältnisse), und nach einer subjectiven, die abhängig ist von den Abweichungen des dioptrischen Apparates (chromatische Aberration, Zerstreuungskreise) und der erregten Netzhautstelle. Fortgesetzte Untersuchungen von Purkinje bis Carl Hess haben gezeigt, dass die Farben auf peripheren Netzhautstellen in Sättigung und Farbenton anders wie bei macularem Sehen wahrgenommen werden, und zwar behauptet Hering das Zusammenfallen der Grenzen der von ihm als Gegenfarben bezeichneten Farbenpaare. Ohne dieses Ergebniss, das von Seite Arth. König's bestritten wird, weiter zu behandeln, ist sicher, dass diese Aenderungen über die Netzhaut zwar nicht in concentrischen Kreisen, sondern in den verschiedenen Radien in verschiedener, aber in durchaus gesetzmäßiger Weise stattfinden, und dass uns eben diese Gesetzmäßigkeit in den Stand setzt, mit einer gewissen Annäherung den macularen Charakter einer peripher wahrgenommenen Farbe zu erkennen. Die früheren Einwände, dass es sich hier um Ermüdungserscheinungen oder Urtheilstäuschungen handle, sind im wesentlichen durch Hering's Versuche widerlegt. Indem wir aber diese Aenderungen als stetige auffassen müssen, ist nach Wundt anzunehmen, dass jedes Netzhautelement gemäß seiner Lage einen nuancirenden Einfluss auf die Farbenwahrnehmung aus-

üben wird, wenn uns auch die Abstufung unserer Empfindung keineswegs eine Kontrolle derselben gestattet, was einem allgemeinen psychischen Verhalten entspricht, wonach continuirliche Empfindungsänderungen nur dann wahrgenommen werden, wenn sie einen bestimmten Werth im Verhältniss zur ursprünglichen Reizung erreichen. Dies täuscht uns beim Uebergang auf periphere Netzhautzonen auch eine stetige Empfindungsänderung vor, während dieselbe von einem percipirenden Elemente zum anderen discontinuirlich stattfindet. So besteht der Einfluss der Uebung darin, dass wir jene Aenderungen feiner wahrnehmen lernen, während die Perceptionsverhältnisse für die einzelnen Elemente dieselben bleiben. Welches dabei die anatomischen Verhältnisse der peripheren Endorgane sind, bleibt für die Wahrnehmungsvorgänge gleichgültig und wird erst wesentlich für die Theorie der Sinnesempfindungen.

Diese Feinheit der Empfindungsabstufung behauptet nun Wundt auch für die Muskelempfindungen, und beweist es mittelst der Gruppe von optischen Täuschungen, die auf verschiedene Innervationsgröße zurückzuführen sind¹⁾. Ferner haben wir in den Lageverhältnissen der Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen ein auch klinisch viel benutztes Hilfsmittel zur Messung der Innervationsgrößen, wie es uns sonst nirgends wieder in der Muskelphysiologie zur Verfügung steht²⁾, woraus Wundt schließt, dass die Muskelempfindung ein directes Maß für die Größe der von den Sehachsen zurückgelegten Wege ist. Allerdings beweisen die oben erwähnten Täuschungen, dass die Muskelempfindungen unmittelbar vergleichbar nur bei Bewegungen in bestimmten Orientirungen sind, wobei, wie es scheinen möchte, vor allem die Bewegungen aus der Primärlage in Betracht kommen. Dabei ist aber die Annahme unwahrscheinlich, es handle sich um qualitative Verschiedenheiten der Muskelempfindungen, vielmehr lässt schon die Betheiligung derselben Muskeln an den verschiedensten Augenbewegungen nur eine intensive Abstufung der Bewegungsempfindungen vermuthen, wie dies Wundt formulirt³⁾:

1) W. Wundt, *Physiol. Psychol.* 4. Aufl. Bd. II. S. 131—142.

2) Vergl. die von Wundt herbeigezogene Arbeit A. v. Graefe's, *Ueber Abducenslähmungen*. *Arch. f. Ophthalm.* I, 1; ferner das von Landolt gegebene Schema der Augenlähmungen.

3) *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*. S. 162.

»das Bewegungsgefühl der Augen zeigt graduelle Verschiedenheiten, erstens in allen Bewegungsrichtungen in Bezug auf den Umfang der Bewegung und zweitens in jeder einzelnen Bewegungsrichtung im Vergleich zu einer anderen; beide Verschiedenheiten sind jedoch derselben Art, sodass wir Entfernungen nach allen Richtungen hin messen und mit einander vergleichen können, dass aber Vergleichen eine strengere Geltung immer nur für eine und dieselbe Richtung haben.«

So entsteht der Gesichtsraum aus den Reihenbildungen complexer Gebilde, in welche die Netzhauterregungen und die Muskelempfindungen als Elemente eingehen. Dabei haben diese Glieder gemäß der besprochenen Abstufung dieser beiden für jeden Netzhautpunkt verschiedenen Werth. Wenn dieses auch zur Vollziehung der Localisation für das entwickelte Bewusstsein genügt, so kommt bei der individuellen Entwicklung bei der Bildung des Gesichtsraumes noch der Einfluss der dominirenden Punkte und Linien im Sehfelde in Betracht, indem diese wie durch einen Reflexmechanismus die Stelle des deutlichsten Sehens zur Einstellung auf sich zwingen. Das Kind percipirt zuerst nur die hellsten Stellen des Gesichtsfeldes, während es die feineren Helligkeitsabstufungen und die Farbenunterschiede lange Zeit, länger als die primitive Entwicklung der Raumanschauung dauert, unbeachtet lässt. Die Sehachsen wandern gemäß der Intensitätsabstufung der Erregung über die verschiedenen distincten Punkte des Sehfeldes. Besonders sind stereoskopische Versuche geeignet, den Einfluss der dominirenden Linien zu zeigen in der Schwörlösbarkeit der Verschmelzung verticaler Linien oder concentrischer Kreise. Bei der Wanderung der Sehachsen über die dominirenden Punkte werden Muskelempfindungen ausgelöst, die einzeln percipirt werden; aus der Vielheit solcher Perceptionen bilden sich psychologisch die continuirlich abgestuften Reihen der Muskelempfindungen, die in complexer Verschmelzung mit den Retinalerregungen zur Bildung der Raumvorstellung durch den Gesichtssinn führen. Dass keine dauernde Fixation stattfindet, sondern eine gewisse Freiheit in der Bewegung der Sehachsen vorhanden ist, erklärt Wundt aus der Ermüdung, ein Motiv, das auch Waitz zu demselben Zwecke benutzt hatte¹⁾.

1) Th. Waitz, Lehrb. d. Psychol. als Naturwissenschaft. Braunschweig 1849.

Wenn wir die Bewegungsempfindungen genauer analysiren, so ergibt sich, dass in ihnen Tastempfindungen neben den Muskel-empfindungen enthalten sind, die bei der Bewegung des Auges von dem Druck auf die Weichtheile der Orbita herrühren und die auch bei dem Auftreten von Muskelempfindungen als Bewegungsintentionen bei Netzhautindrücken im indirecten Sehen mit reproducirt werden. Wundt demonstriert den Einfluss der geringeren Stärke der reproducirten Empfindung gegenüber der thatsächlich stattfindenden Bewegung an der Neigung, die Dimensionen des Gesichtsfeldes zu unterschätzen und dem Flachersehen von Reliefs bei ruhendem Auge: die verschiedenen Tasteindrücke bei verschiedenen Augenstellungen sind direct als Localzeichen aufzufassen, und vielleicht durch sie kommt im ruhenden Doppelauge die Beziehung der Bildunterschiede in beiden Augen auf die Tiefeneigenschaften der Objecte zu Stande, »wobei wir uns, wie überall bei solchen Verschmelzungen, nicht der subjectiven Unterschiede selbst, sondern nur der objectiven Eigenschaften, deren Wirkungen sie sind, bewusst werden«¹⁾. Der psychische Act beim Zustandekommen der complexen Localzeichen ist als Verschmelzung zu bezeichnen, indem das Resultat seinem Wesen nach von einer einfachen Summe der Componenten verschieden ist, eine Ueberlegung, die an John Stuart Mill's Theorie der Raumanschauungen erinnert, der sonst der Annahme der Muskel-empfindungen und Farbenempfindungen als Elementen der Rauman-schauung beistimmt, aber in der Annahme der Verschmelzung zu etwas in den Theilelementen nicht Enthaltenem sich von der einfach summirenden Associationspsychologie entfernt.

Das qualitativ abgestufte Feld der möglichen Retinaerregungen wird ausgemessen durch die quantitativ abgestuften Bewegungsempfindungen, woraus das kugelförmige, flächenhafte monoculare Sehfeld entsteht. Beim binocularen Sehen können sich wiederum in vieldeutiger

S. 198: »Nach dem bekannten Gesetze der abnehmenden Empfindlichkeit des Sehnerven für eine und dieselbe Farbe bei länger dauernder Betrachtung wird aber nach einiger Zeit der bisherige schwächere Reiz, der die seitlichen Stellen der Netzhaut traf, den Sehnerven stärker ansprechen. Deshalb muss eine Bewegung des Auges entstehen, durch die nun diesem anderen Reize der Mittelpunkt des Auges zugewendet wird«.

1) W. Wundt, Physiol. Psychol. 4. Aufl. Bd. II. S. 217.

Weise die Localzeichen verschiedener Netzhautstellen mit einander verbinden, welche Verbindungen im allgemeinen durch den Verlauf der Fixationslinien im binocularen Sehfelde bestimmt werden. Dabei werden die Richtungen der Blicklinien wiederum durch die retinalen Localzeichen und die Bewegungsempfindungen beherrscht, indem jene die Linien bevorzugen, für welche die Auffassungen des ruhenden und bewegten Auges dieselben sind: es sind dies die Richtlinien, die als größte Kreise, in kleineren Abschnitten des Sehfeldes aber als gerade Linien durchlaufen werden, wodurch die Gerade das Maß- und Constructionselement des Sehraumes ist.

Die Wundt'sche Raumtheorie ist genetisch, er selbst bezeichnet sie zum Unterschied von anderen genetischen Theorien als associative Verschmelzungstheorie¹⁾. Die Localzeichen verschmelzen, in ein Continuum von drei gleichartigen Dimensionen geordnet, zur Raumanschauung. Die Dimensionalität jenes Continuum ist direct identisch mit der Mannigfaltigkeit der Localzeichen (daher Zweidimensionalität des monocularen Sehfeldes). Aber ein Zugeständniss muss auch diese Theorie dem Nativismus machen: dass jene Processe erst auf Grund bestimmter anatomisch präformirter Verhältnisse möglich sind, als welche die stetige Vertheilung der Localzeichen in den Sinnesorganen, und der regulirende centrale Apparat angenommen werden, die sich mit dem Complicirterwerden der Functionen in der morphologischen Entwicklungsreihe differenzirten.

Diese Form einer Localzeichentheorie scheint mehr zu leisten als die einfachere, von Lotze herrührende Form derselben, und sie bietet mehr als die resignirenden Helmholtz'schen Anschauungen über die Localzeichen²⁾.

1) W. Wundt, *Physiol. Psychol.* 4. Aufl. II. Bd. S. 233.

2) Helmholtz, *Physiol. Optik.* 2. Aufl. S. 950: »Ich habe die Ableitung dieser Gesetze auf gar keine bestimmte Annahme über die Art der Localzeichen begründet. Sie würde passen, auch wenn diese Zeichen ganz willkürlich über die Netzhaut ausgewürfelt wären, ohne dass irgendwelche Aehnlichkeit der Localzeichen benachbarter Punkte vorausgesetzt würde. Es würde dadurch allerdings die Schwierigkeit der Einübung bedeutend erhöht werden. . . Indessen, wie auch dieses System der Localzeichen, von welcher Art sie selbst sein mögen, so kann ihre besondere Einrichtung die Orientirung wohl erleichtern; aber auch hier fordern die Consequenzen der empiristischen Theorie, mit denen die Erscheinungen durchaus übereinstimmen, dass jede solche Einrichtung nur erleichternd für die Einübung des Augenmaßes, nicht entscheidend für seine definitiven Resultate ist«.

Eine Vervollkommnung der Localzeichentheorie fürs monoculare Sehen versucht nun A. Kirschmann¹⁾. Er geht davon aus, dass Gegenstände, für die das Auge nicht accommodirt ist, in Zerstreuungskreisen gesehen werden. Zunächst ist anzunehmen, dass die Lage, Größe und Form derselben abhängt von den physikalischen Verhältnissen des dioptrischen Apparates, von der Krümmung der Retina und, was für Kirschmann besonders in Betracht kommt, von der Lage der Objecte zu einander. Die Zerstreuungskreise decken sich centrisch mit dem fixirten Punkte nur, wenn diese zusammen auf dem (durch die beiden Knotenpunkte gehenden) Hauptrichtungsstrahle liegen; andernfalls liegen sie auf einem seitlichen Netzhautmeridianabschnitte, in demselben Horizontalkreise, und zwar dem Aequator der Netzhaut, wie der fixirte Punkt, wenn sie in der Höhe desselben liegen, wenn höher, unterhalb, wenn tiefer, oberhalb desselben im umgekehrten Bilde.

Als Ausgangspunkt der ausführlicheren Darstellung diene Wundt's Erörterung der Deckungsverhältnisse, wenn zwei Gegenstände sich übereinander abbilden²⁾. Wenn man das Auge für den fernerliegenden Punkt accommodirt, so wird der näherliegende, vorausgesetzt, dass er nicht in den Accommodationsbereich fällt, sich als Zerstreuungskreis abbilden, der sich mit dem scharf gesehenen Punkte in irgend welcher Weise deckt, wenn beide auf derselben Blicklinie liegen. Die Form und die Größe dieses Zerstreuungskreises wird durch die Weite der Pupille bestimmt, und zwar entspricht im directen Sehen der Mitte der Zerstreuungskreise der Pupillenmittelpunkt. Von dem Bildpunkte auf der Stelle des deutlichsten Sehens, der zugleich Mittelpunkt der Zerstreuungskreise ist, kann man eine gerade Linie durch den Pupillenmittelpunkt und jene beiden Objecte ziehen, die man als Visirlinie bezeichnet. Alle Punkte, die auf ihr liegen, bilden sich auf einem Netzhautpunkt ab. Die Visirlinie zur Fovea bezeichnet man als Hauptvisirlinie, sie liegt sehr nahe der Gesichtslinie, die durch den mittleren Knotenpunkt des Auges geht. Für die Gesichtslinie kommt dabei noch die nicht ganz vollkommene Centrirung des

1) A. Kirschmann, Die Parallaxe des indirecten Sehens und die spaltförmige Pupille der Katzen. Philos. Studien. IX. Bd. S. 446—495.

2) W. Wundt, Physiol. Psychol. 4. Aufl. II. Bd. S. 106.

dioptrischen Apparates in Betracht¹⁾), was für die Visirlinien wegfällt. Alle Visirlinien schneiden sich im Mittelpunkt der Pupille. Die Bedeutung der Visirlinien beruht darauf, dass sie die Projection der Objecte nach außen beherrschen, und dass wir nach dem von ihnen gebildeten Winkel, dem Gesichtswinkel, die Grösse der Objecte schätzen. Es zeigt sich aber aus gewissen Urtheilstäuschungen, dass zur Größenschätzung nicht der Visirwinkel allein benutzt wird: so entstehen bei Trochlearislähmungen höhendistante Doppelbilder, von denen das untere sehr scharf localisirt und sehr deutlich als näher empfunden wird, wofür der Grund in der zwangsweisen Verlegung desselben in den Horopter, und der Accommodationsänderung bei physiologischer Convergenz beim Abwärtssehen beruht²⁾. Wir haben also, wie noch eine Fülle anderer Erfahrungen beweist, in der Accommodationsänderung das andere Mittel der Entfernungsschätzung zu sehen. Mit Hülfe derselben halten wir diejenigen Objecte, die bei gleichem Gesichtswinkel ferner erscheinen, für größer als die näher erscheinenden. Jedoch ist die Accommodation nur ein unvollkommenes Hilfsmittel³⁾, was Kirschmann veranlasst, die Verhältnisse der Zerstreuungskreise beim monocularen indirecten Sehen zur Erweiterung der Wundt'schen Localzeichentheorie zu benutzen. Die Fläche, für die das Auge in einem bestimmten Augenblick accommodirt ist, sei eine Kugelfläche. Dann werden alle Objectpunkte derselben auch beim indirecten Sehen scharf abgebildet. Dagegen werden die anderen Objectpunkte auf denselben Visirlinien des indirecten Sehens sich in Zerstreuungskreisen abbilden. Da beim indirecten Sehen die homocentrischen Strahlenbündel solcher in Zerstreuungskreisen sich abbildender Objectpunkte den dioptrischen Apparat nicht in der Richtung der Achse passiren, werden die Zerstreuungskreise gegen das Bild des scharf wahrgenommenen Punktes verschoben sein, und zwar werden die Zerstreuungskreise der näher gelegenen Punkte auf periphereren Meridianabschnitten, die der fernerer Punkte auf centraleren Stellen liegen. Weitere Aussagen sind zunächst unzulässig, indem der dioptrische Apparat in seinem Bau Cor-

1) Helmholtz, *Physiol. Optik.* S. 103. 108.

2) Vergl. Moritz Sachs, *Arch. f. Ophthalmol.* XXXVI. 1. 1890; Zur physiologischen Convergenz beim Abwärtssehen: Schöller, *Arch. f. Ophthalm.* XXI.

3) Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* S. 105 ff.

recturen enthält, die ebenso die Größe wie die Excentricität der Zerstreuungskreise zu vermindern scheinen¹⁾. Nach der Kirschmann'schen Construction zeigt sich, dass die Größe der Excentricität der Netzhautbilder dieser indirect gesehenen Punkte, die auf derselben Visirlinie liegen, abhängig ist vom Verhältniss derselben zum zugehörigen Richtungsstrahle; sie würden gerade in dem Moment auseinandertretend sich berühren, wo der Richtungsstrahl durch den Pupillarrand abgeblendet wird; wenn der Richtungsstrahl in dem Strahlenkegel liegt, der, abhängig von der Pupillenweite²⁾, für die Bildconstruction in Betracht kommt, so tritt im allgemeinen excentrische Deckung der Zerstreuungskreise ein, und nur in dem oben entwickelten Falle, dass die Objectspunkte in der Hauptvisirlinie liegen, findet concentrische Deckung statt. Wenn man sich nun den Fall denkt, dass sich alle Punkte gewisser Strecken der Visirlinien abbilden, so werden die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise Linien bilden, die Abschnitte der Netzhautmeridiane sind. Die Linien werden um so größer sein, je weiter peripher diese Abbildung stattfindet.

Es ändere sich nun die Accommodation, indem sie für einen ferner gelegenen Punkt eingestellt werde, d. h. es finde durch die Zugwirkung des Ciliarmuskels eine derartige Abflachung der beiden Linsenflächen statt, dass ein Bildpunkt, der erst vor der Retina entworfen wurde, auf dieselbe fällt. Dann geht erstens der vorher deutlich gesehene Punkt, wenn die Accommodationsänderung eine genügende war, in einen Zerstreuungskreis über, die Zerstreuungskreise der näher gelegenen Punkte wachsen, die der ferner gelegenen nehmen etwas an Größe ab. Gleichzeitig aber verschieben sich die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise aller indirect gesehenen Punkte, und zwar entfernen sich dieselben vom Netzhautcentrum, während sie bei entgegengesetzter Accommodationsänderung (Acc. für die Nähe) demselben nähern. Mit dieser Ortsverschiebung der Retinabilder muss eine scheinbare Objectverschiebung verbunden sein. Auf diese Weise erklärt Kirschmann folgende Beobachtung von Helmholtz:

1) Vergl. Rasmus und Wauer, Mathemat. Theorie der Periskopie des menschl. Auges. Pflüger's Arch. Bd. XX. S. 264.

2) Aubert, Physiol. Optik. S. 457—461.

»Wenn man einen nahen vor dem Auge befindlichen Gegenstand, der deshalb im Zerstreuungsbilde erscheint, durch eine feine Oeffnung betrachtet, so erscheint er deutlich und außerdem vergrößert, ja er erscheint sogar größer, als wenn man ihn ohne Oeffnung bei derselben Entfernung im Zerstreuungsbilde betrachtet«¹⁾. Helmholtz selbst erklärt dies daraus, dass im ersteren Fall die Zerstreuungskreise weiter von einander entfernt sind.

Andererseits ist es denkbar, dass das Auge eine Bewegung ausführt, ohne eine Aenderung der Accommodation. Solche Bewegungen finden bekanntlich um den Drehpunkt statt, der etwas hinter dem Augenmittelpunkte gelegen ist. Bei einer derartigen Drehung entsteht nun eine Ortsveränderung des Gesamtbildes auf der Netzhaut, daneben aber auch eine Veränderung der relativen Lage der einzelnen Bildtheile zu einander. Da einer jeden Netzhautstelle nach Wundt ein bestimmtes qualitatives Localzeichen zukommt, so finden bei Accommodationsänderungen und bei Augenbewegungen Aenderungen im System derselben statt. Zu jenen qualitativen Localzeichen gehören aber nach Wundt intensive, die in der Abstufung der Bewegungsempfindungen gegeben sind. Dieselben werden gemessen durch die Größe des Winkels, den eine Augenbewegung durchlaufen muss, um einen peripher abgebildeten Punkt in die fovea überzuführen, dessen Scheitel also im Drehpunkte des Auges liegt. Es gehören nun indirect gesehenen Punkten, die auf einer Visirlinie liegen, gleiche qualitative Localzeichen zu. Da aber für sie der Werth jenes Drehungswinkels ein verschiedener ist, so haben sie verschiedene intensive Localzeichen. Die Punkte dagegen, die ein gleiches intensives Localzeichen haben, liegen auf den durch den Drehpunkt des Auges gehenden Linien, die man als Blicklinien bezeichnet. Man kann nun jeden Punkt im Raume als Schnittpunkt einer Visir- und einer Blicklinie betrachten, wodurch die beiden Localzeichen desselben gegeben sind. Diese verschmelzen mit einander zu einem complexen Localzeichen, das für jeden Raumpunkt einen anderen Werth hat; man kann es als additive Größe auffassen und die Differenz der Aenderung des Gesichtswinkels bei der Augenbewegung und den Drehwinkel nach Kirschmann als »Parallaxe des indirecten Sehens« bezeichnen.

1) Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Aufl. S. 118.

Diese Bezeichnung kommt sowohl bei Listing wie auch bei Helmholtz vor. Ersterer entwickelt den Begriff folgendermaßen¹⁾: »Die Visirlinie, eine gerade Linie vom Drehpunkte des Auges nach dem Objecte gezogen, in welche beim directen Sehen, Visiren, die Achse des Auges während unverrückter Stellung der Augenhöhle durch die Muskeln versetzt werden muss, ist also für ein indirect gesehenes Object verschieden von der ersten Richtungslinie, und der Winkel zwischen beiden ist die Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der Objecte bei directem und indirectem Sehen, bedingt durch die Excentricität des vorderen Knotenpunktes in seiner Stellung zu dem mechanischen Centrum des Auges²⁾.«

In anderem Sinne gebraucht Helmholtz die Bezeichnung³⁾: »Ich würde es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, dass als Spitze des ersten Winkels der Kreuzungspunkt der Visirlinien gebraucht wird, weil zwei punktförmige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lage haben, wenn sie in derselben Visirlinie liegen«. Nach einer wenig eingehenden Discussion der Parallaxe kommt er zu folgendem Resultate⁴⁾: »Wenn man dabei berücksichtigt, wie außerordentlich undeutlich das indirecte Sehen in 8° Entfernung vom Blickpunkte ist, so wird dadurch begreiflich, dass wir nur ausnahmsweise, wenn irgend ein sehr heller Punkt hinter dem Rande eines dunklen Schirmes auftaucht, die Veränderungen des Bildes, welche von den Bewegungen des Auges abhängen, bemerken«; er verwirft also den Einfluss der Parallaxe, was Kirschmann zu bestreiten sucht. Kirschmann setzt seine Zeichen in eine gewisse Analogie zu Wundt's complexen Localzeichen des binocularen Sehens. Wenn auch wegen der Abhängigkeit von der Pupillenweite und durch eine Begünstigung der Variabilität der Zuordnung durch eine enge Pupille der Werth derselben ein viel engerer wie der der binocularen Localzeichen ist, so komme ihnen doch vergleichend-physiologisch eine

1) Listing, Beitrag zur physiolog. Optik. Göttinger Studien. 1845. S. 64.

2) ibid. S. 65, Anm. Sie bezieht sich bloß auf Objecte im Horopter, sie ist Null für jede Entfernung für in der Achse liegende Objecte, sie ist Null in jeder Elongation für unendlich ferne Objecte. An dieser Stelle theilt auch Listing eine kurze Tabelle der Parallaxe mit.

3) Helmholtz, Physiolog. Optik. 2. Aufl. S. 729.

4) ibid. S. 730.

bedeutende Wichtigkeit zu, weil sie auch eine Art complexer Localzeichen bei Thieren darstellten, welchen ein gemeinschaftliches Gesichtsfeld überhaupt fehlt. So sei die Parallaxe des indirecten Sehens ein Hilfsmittel der monocularen Tiefenwahrnehmung, die demnach nicht allein auf die die Accommodationsänderungen begleitenden Empfindungen angewiesen wäre. Die Bedeutung der monocularen Tiefenwahrnehmung überhaupt sucht Kirschmann dadurch zu beweisen, dass er zeigt, dass die monocularen Sehfelder viel ausgedehnter seien, als das binoculare; er stützt sich auf die von Helmholtz¹⁾ gegebene Figur, die er dahin modificirt, dass er die monocularen Sehfelder beiderseits offen zeichnet²⁾.

Die gesetzmäßige Zuordnung zwischen qualitativen und intensiven Localzeichen, wie sie die Parallaxe des indirecten Sehens enthalte, ist nach Kirschmann eine spezifische Function desselben, während die Accommodation als Hilfsmittel des monocularen Tiefensehens mehr dem directen Sehen zukomme. Jene ist aber nicht der directen Wahrnehmung zugänglich wegen des Gesetzes der Correspondenz von Apperception und Fixation, indem, wenn wir die Aufmerksamkeit auf die Erregung einer peripheren Netzhautstelle richten, wir unwillkürlich dieselbe an die Stelle des deutlichsten Sehens überführen; das Wesen dieses Mechanismus hat Wundt in jenem Gesetze entwickelt³⁾. Die in den Gesetzen der Augenbewegungen zum Ausdruck kommende einfachste Innervation der Augenmuskeln, die constante Orientirung im Sehraum und die Bevorzugung der Primärstellung wird von psychologischen Bedingungen beherrscht, die wir als Aufmerksamkeit, und das Actualwerden derselben als Apperception bezeichnen, und von denen wir aus methodischen Gründen annehmen, dass ihnen materielle Processe in den nervösen Centralorganen entsprechen. Nicht die Intensität und Qualität eines Reizes an sich, sondern seine Fähigkeit, die Apperception zu erregen, ist für die Einstellung der Blicklinie auf ihn bestimmend. Diese psychologische Beziehung, den Zusammenhang von Aufmerksamkeit und centralem Sehen vermag erst längere Uebung zu lösen. Da normaler Weise

1) Helmholtz, Physiol. Optik. S. 642.

2) Vergl. die Bemerkung Kirschmann's. Wundt, Philos. Studien. IX. S. 458.

3) W. Wundt, Physiol. Psychol. 4. Aufl. S. 121.

die scharfe Gesichtswahrnehmung an die Fixation gebunden ist, so nehmen wir die Lichteindrücke des indirecten Sehens nicht mit der Genauigkeit wahr, mit welcher sie von dem optischen Apparate des Auges geliefert und vom motorischen Apparate ausgenutzt werden. So zeigten Aubert und Förster, dass, je weiter eine Zahl von der Augenachse entfernt ist, sie um so größer sein muss, um erkannt zu werden¹⁾. Bei der Bestimmung des Verhältnisses ihrer Zu- oder Abnahme zu dem Raum, auf dem sie erkannt wird, findet keine progressive, sondern eine proportionale Abnahme des Raumwinkels im Verhältniss zu der des Zahlenwinkels statt. Erst von der Zone des blinden Flecks an wird die Abnahme des Raumwinkels zu der des Zahlenwinkels progressiv²⁾.

II. Versuche über monoculare Tiefenwahrnehmungen im indirecten Sehen.

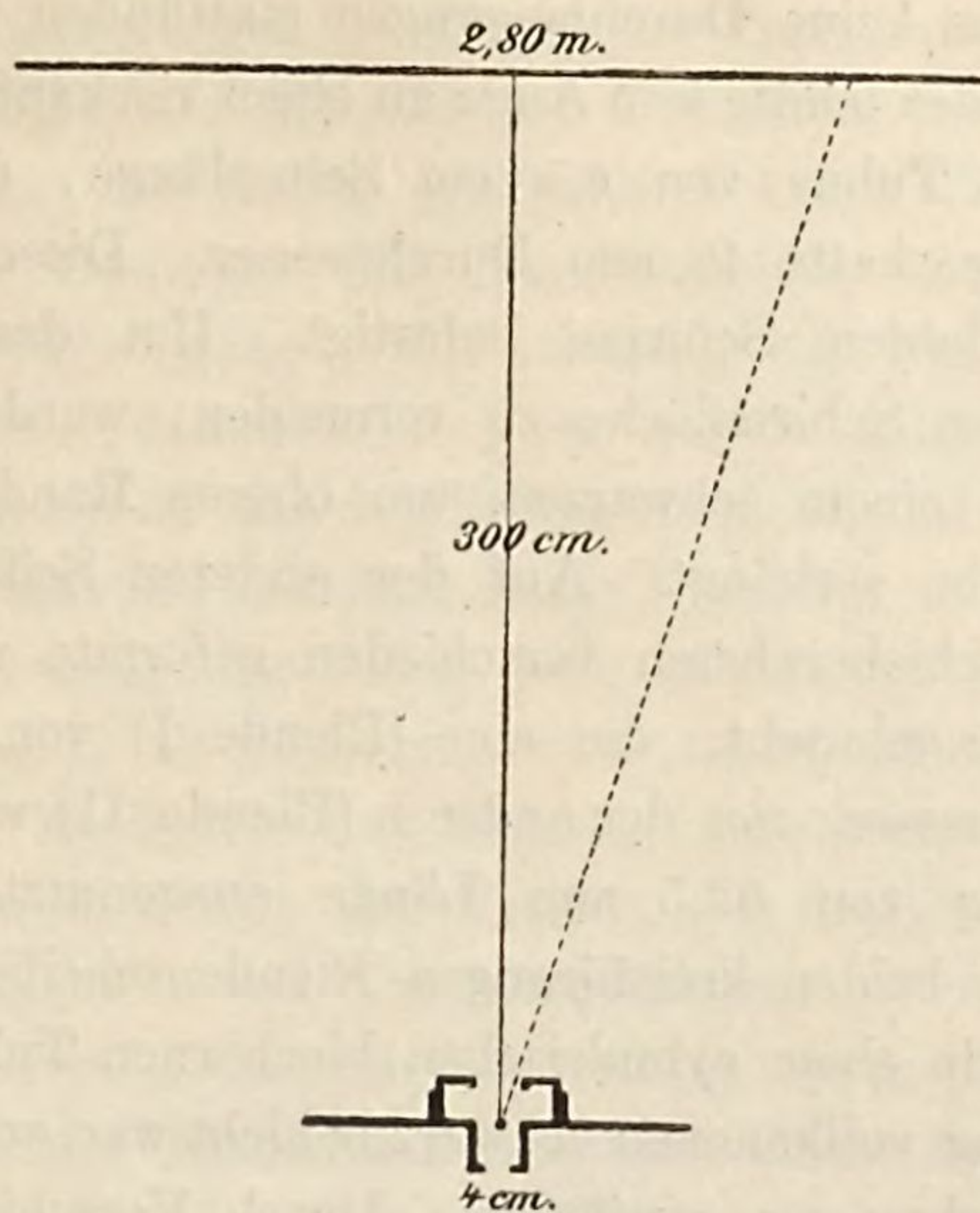
Die Versuchsanordnung, die sich in allen wesentlichen Punkten an die Vorschläge des Herrn Professor Wundt hielt, wich, wegen der vorzugsweisen Berücksichtigung des indirecten Sehens vielfach von der Arrer's³⁾ ab. Ein Versuch, der diesem voranging, auf experimentellem Wege eine Entscheidung für oder gegen die Theorie Kirschmann's zu gewinnen, scheiterte daran, dass wegen der zu kleinen Dimensionen des Apparates die Fehler so große waren, dass sie die Regelmäßigkeit der Resultate verdeckten, was der Anlass war, die Maße ziemlich groß zu wählen. Die Vorrichtung bestand aus drei wesentlichen Theilen: einem Schirme, der die Visirvorrichtung trug, einem gleichmäßig grauen, 2 m hohen und 2,5 m langen Schirme als Hintergrund, und aus zwei mit Maßstab versehenen straff gespannten Drähten, von denen der eine die Normaldistanz trägt, während der andere die Richtung des indirecten Sehens festlegt. In der beistehenden schematischen Zeichnung der Figur 1 (I Horizontal-, II Verticalprojection) zeigt II den mit der Visirvorrichtung versehenen

1) Aubert und Förster, Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens. Untersuch. üb. d. Raumsinn d. Netzhaut. Arch. f. Ophthalmol. XII. 2. 1857.

2) Fick und Dubois, Müller's Arch. 1853. S. 396; vergl. Wundt, Physiol. Psychol. 4. Aufl. II. Bd. S. 104, 216; ferner Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Aufl. S. 257.

3) Arrer, Philos. Studien. XIII. Bd. Heft 1.

I



II

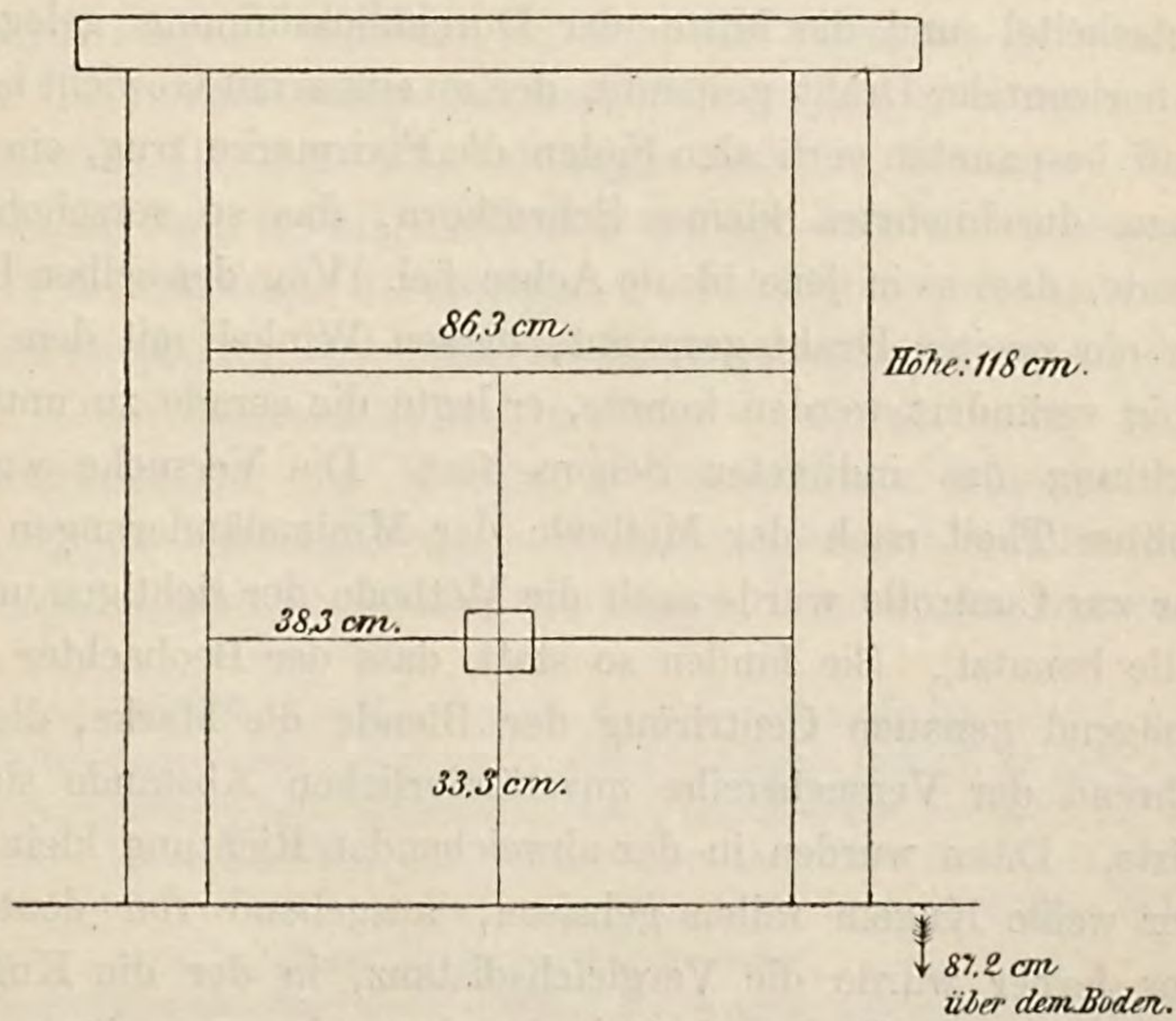


Fig. 1.

Schirm; er ist in einem genügend starken rechteckigen Rahmenwerk angebracht, sodass keine Durchbiegungen stattfinden können.

Der Beobachter lehnte sein Auge an einen vierkantigen, cubischen, schwarzbelebten Tubus von 4,5 cm Seitenlänge; die Durchblicköffnung fürs Auge hatte 40 mm Durchmesser. Dieser Tubus ist an dem schwarzbelebten Schirme befestigt. Um das Spiegeln der nicht ganz matten Schirmfläche zu vermeiden, wurde der Kopf des Beobachters mit einem schwarzen, am oberen Rande des Schirmes befindlichen Tuche verhängt. Auf der anderen Seite des Schirmes sind in einem Schieberahmen verschieden geformte und verschieden weite Blenden angebracht, die eine (Blende I) von Kreisform hat 38,2 mm Durchmesser, von der anderen (Blende II) wurde eine bandförmige Oeffnung von 62,5 mm Länge ausgenutzt, während der Durchmesser der beiden kreisförmigen Blendenscheiben 93,5 mm betrug; sie waren in einen cylindrischen blechernen Tubus, der wie die ganze Vorrichtung vollkommen schwarz beklebt war, von 80 mm Länge und 95 mm Durchmesser, einfügbar. Durch Verschieben der diesen Tubus tragenden Platte ist die Durchblicköffnung zu verschließen, damit ward jede Störung des Beobachters durch Wegblicken u. dergl. vermieden. Von dem Schirme aus war parallel der durch den Hornhautscheitel und die Mitte der Durchblicksöffnung gelegten Achse ein horizontaler Draht gespannt, der an einem mit Gewicht beschwerten straff bespannten verticalen Faden die Fixirmarke trug, ein schwarzes genau durchbohrtes kleines Schrotkorn, das so verschoben werden konnte, dass es in jene ideale Achse fiel. Von demselben Punkte aus war ein zweiter Draht gespannt, dessen Winkel mit dem ersten beliebig verändert werden konnte, er legte die gerade zu untersuchende Richtung des indirecten Sehens fest. Die Versuche wurden zum größten Theil nach der Methode der Minimaländerungen angestellt (nur zur Controlle wurde auch die Methode der richtigen und falschen Fälle benutzt). Sie fanden so statt, dass der Beobachter nach einer genügend genauen Centrirung der Blende die Marke, die in einem während der Versuchsreihe unveränderlichen Abstände sich befand, fixirte. Dann wurden in der abweichenden Richtung kleine schwarze oder weiße Kugeln fallen gelassen, ausgehend von deutlich näher oder ferner wurde die Vergleichsdistanz, in der die Kugeln fielen, um bestimmte Stufen fortschreitend so lange verändert, bis das

Urtheil gleich erfolgte, und über dieses hinaus zum Urtheil »näher« oder »ferner« übergegangen¹⁾. Damit der Beobachter nicht aus dem Schalle der auffallenden Kugeln ein Urtheil über die Distanz gewinnen könne, war der Boden genügend dick mit Watte belegt, um allen Schall zu dämpfen. Als Versuchsfehler kamen ferner der Schatten und die Bewegungen des Schattens der Person in Betracht, welche die Kugeln fallen ließ. Dies wurde möglichst durch geeignete Lichtvertheilung auszuschließen versucht, indem das von dem Rücken des Beobachters her einfallende Licht vor allem von der dem Experimentator entgegengesetzten Seite zugelassen wurde, von der anderen nur soweit, als nothwendig war, um eine bemerkbare Verschiedenheit der Helligkeit des Hintergrundschirmes auszuschließen. Um die Größenveränderung der Kugeln, bei Annäherung oder Entfernung als Hilfsmittel der Entfernungsschätzung durch Aenderung ihres Gesichtswinkels auszuschließen, wurden etwas verschieden große Kugeln in beliebiger Reihenfolge benutzt. Dass Augenbewegungen stattfanden, war bei der Geschwindigkeit, mit der die fallenden Kugeln das Gesichtsfeld passirten, nicht zu befürchten.

Hillebrandt glaubte alle stereoskopischen Effecte dadurch auszuschließen, dass er als zu fixirende Linien die Grenzen von verschieden hellen Flächen benutzte; er bedachte dabei, wie es scheint, nicht, dass die Irradiationserscheinungen diese Linien nicht scharf erkennen lassen. Da diese Erscheinungen für alle Versuche dieser Art sehr störend sind, im allgemeinen in der Art, dass sie die Sicherheit jedes Urtheilens stark herabsetzen, so wurde versucht, sie durch die Helligkeitsvertheilung und Farbe des Hintergrundes auszuschließen. Sowohl um sie zu controlliren als auch um zu sehen, welche Rolle die Helligkeitsänderung der Kugeln in verschiedenen Entfernungen als Hilfsmittel des Urtheilens spiele, wurden neben den weißen auch schwarze Kugeln benutzt²⁾. Dass der Faden keine stereoskopischen

1) Zuerst wurden Schrotkörner benutzt, da aber selbst die Nummern 0 und 00 bei den Entfernungen über $1\frac{1}{2}$ m nicht mehr genügend scharf gesehen werden konnten, dann Kreidekugeln angewandt, deren Durchmesser zwischen 5,5 und 10 mm lag; diese Verschiedenheit der Durchmesser hatte den Zweck, die constante Abnahme des Seh winkels als Hilfsmittel des Urtheils auszuschließen. Die Kugeln wurden in ganz beliebiger Reihenfolge genommen.

2) Dabei erwies sich, dass die Helligkeit der Kugeln auf die Zahlenwerthe vollkommen ohne Einfluss war.

Effecte darbiete, betonte schon Wundt¹⁾. Das Verfahren war insofern ein halbwissentliches, als der Beobachter zwar die Richtung der Reihen kannte, aber weder den Ausgangspunkt noch die Stufen. Um eine Ermüdung des Beobachters zu vermeiden, wurde ihm aufgetragen, nach dem Fallen der Kugel das scharfe Fixiren abbrechen durch Parallelstellung der Augenachsen, als wenn er in die Ferne blicken wolle. Vor dem Fallen der nächsten Kugel wurde er dann durch das Signal »jetzt« zu neuem Fixiren veranlasst. Die einzelnen Versuchsreihen waren durch genügend lange Pausen getrennt.

Die genaue Beschreibung der Versuchsanordnung, der Ausführung der Versuche, der möglichen Fehlerquellen und ihrer Vermeidung schien deshalb nothwendig, weil nur so ein ungefährer Schluss auf die Genauigkeit und Gültigkeit derselben möglich ist, sowie ein Urtheil darüber, ob die Bedingungen normale waren, d. h. denjenigen Factoren conform, welche im täglichen Leben bei der Tiefenwahrnehmung in Betracht kommen. Johannes Müller spricht sich in seiner vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes mehreremale gegen das Experiment zu Gunsten gewissenhafter Beobachtung der ohne unser Zuthun täglich verlaufenden Erscheinungen aus. Ohne damit die außerordentliche Ueberlegenheit des Experimentes überhaupt in Frage ziehen zu wollen, ist daran doch soviel richtig, dass man eigentlich die Resultate des Experimentes nur in Form eines hypothetischen Satzes aussprechen darf, in dem der Vordersatz die Versuchsbedingungen und der Nachsatz die Ergebnisse als Folgerung enthält; erst eine nachträgliche Ueberlegung kann über den Geltungsbereich der Ergebnisse entscheiden.

Zunächst wurden größere Winkel als 15° Abweichung von der Hauptfixirlinie nicht benutzt, weil sich herausstellte, dass bei Accommodation für die Nähe eine Gesichtsfeldeinschränkung für entferntere Gegenstände besteht, die Mathiessen genauer untersucht hat²⁾. Wie man sieht, ist übrigens die benutzte Versuchsanordnung im wesentlichen die von Hering für seinen Fallversuch angegebene³⁾.

1) W. Wundt, Beitr. z. Theorie d. Sinneswahrnehm. S. 145 ff.

2) Arch. f. Ophthalmol. XXX. 1. 1884. S. 91—98.

3) ibid. XIV. 1. 1868. S. 3. Einer dieser Versuche Hering's hat insofern ein praktisches Interesse, als man durch denselben jederzeit constatiren kann, ob

Eine vervollkommnete Form derselben hat dann S. G. von den Meulen¹⁾ in seiner Untersuchung über Stereoskopie bei unvollkommenem Sehvermögen, die auf Donders' Anregung unternommen wurde, benutzt. Die Vervollkommnungen, die er an dem Hering'schen Apparate anbrachte, bestanden außer der seinen besonderen Zwecken angepassten Visirvorrichtung darin, dass die Kugeln sich stets mit derselben Geschwindigkeit durch den Gesichtsraum bewegten und von gleicher scheinbarer Größe blieben. Er erreichte dies dadurch, dass er sie mit zunehmendem Abstand aus größerer Höhe fallen ließ und dass er mit wachsender Entfernung größere Kugeln benutzte. Dabei untersuchte er auch monoculare Tiefenwahrnehmungen, aber mit direct negativem Resultate, was übrigens aus den Versuchsbedingungen erklärbar ist²⁾. In diesen Versuchen kommen auf 100 richtige 95,44 falsche Urtheile.

z. B. ein Schielender binocular sieht oder nicht. Der Versuch ist schon von mehreren Ophthalmologen hierzu benutzt worden. »Man lasse jemand durch eine kurze cylindrische Röhre, weit genug, um beide Augen aufzunehmen, die Spitze einer feinen langen Nadel fixiren, welche in mittlerer Sehweite so aufgestellt ist, dass ihre Spitze in die Mitte des Gesichtsfeldes zu liegen kommt, ihr unteres Ende aber durch die Röhre verdeckt wird. Lässt man dann kleine Kugeln von verschiedener Größe etwa zwölfmal hinter einander bald vor, bald hinter der Nadel aus beliebiger Höhe herabfallen, so weiß ein binocular Sehender, wenn er überhaupt aufmerksam ist, stets mit voller Sicherheit anzugeben, ob die Kugel diesseits oder jenseits der fixirten Nadel herabgefallen ist, während jemand, der nur das Netzhautbild des einen Auges percipirt, sich sehr häufig täuscht oder unsicher wird. Der letztere kann nämlich, wenn anders vorsichtig experimentirt wird, den Fallort der Kugeln nur errathen und irrt also nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit in der Hälfte der Fälle. Selbstverständlich muss die Hand, welche die Kugel fallen lässt, ebenso wie der Boden, auf den letztere fällt, dem Sehenden verdeckt sein. . . Da wegen der Raschheit des Falles keine Zeit ist, sich durch Augenbewegungen über den Fallort der Kugel zu unterrichten, so folgt, dass auch ohne solche die binoculare Tiefenwahrnehmung möglich ist«. Ueber diesen Punkt hatte H. jedoch eine ziemlich ausgedehnte Polemik mit Donders.

1) Arch. f. Ophthalmol. XIX. 1. 1893. S. 101—136.

2) Dagegen Donders: »Blickt man durch einen kurzen Cylinder nach dem mittleren von drei neben einander in einer der Antlitzfläche parallelen Ebene gelegenen verticalen Drähten und lässt dann von einem Gehülfen je nach dessen Belieben bald den rechten, bald den linken Draht, bald beide vor- oder zurückschieben, während man den mittleren fest fixirt, so wird man die Bewegung der Drähte nie verkennen. Gilt es nun zu beurtheilen, ob der Draht in größeren oder geringeren Abstand kommt, dann ist ein Auge bereits zur Entscheidung genügend«.

Ich gehe nun zur Mittheilung meiner eigenen Versuche über. Obgleich die Parallaxe des indirecten Sehens Augenbewegungen voraussetzt, so muss doch gesagt werden, dass die von mir benutzte Versuchsanordnung der Aufgabe vollkommen adäquat war, wenn man, wie dies auch Kirschmann thut, annimmt, dass die Bewegungsintentionen als intensive Localzeichen von den Bewegungen selbst sich nur graduell unterscheiden. Von den gewonnenen Reihen wurden nur diejenigen benutzt, für welche der Gleichheitsbereich ein genügend enger war, ferner wurden die Uebungsreihen und solche, die Unregelmäßigkeiten des Urtheilsverlaufes enthielten, derart dass die Gleichschätzung nach inzwischen aufgetretener Ungleichschätzung wiederholt wurde, was übrigens nur in der ersten Zeit vorkam, verworfen. Für die Theilnahme an den Versuchen im Sommersemester 1897 bin ich den Herren Hanschmann, Weyer, Moebius und Wilkinson verpflichtet, im Wintersemester nahmen noch die Herren Hellpach und Fürbringer theil, an gelegentlichen Controllversuchen betheiligten sich außerdem weitere Mitglieder des psychologischen Instituts.

Die ersten Gruppen der Reihen wurden durch Mittelwerthbestimmung zur Gewinnung des Ortes der scheinbaren Gleichheit der Entfernung von Vergleichs- und Normaldistanz benützt. Dabei wurde das resultirende Mittel der Gleichheitswerthe m_r , das Mittel im aufsteigenden Theile der Reihe m_a und das Mittel im fallenden Theile derselben m_d berechnet. Die von diesen Resultaten ausgehenden Reihen der Minimaländerungen wurden nach der von Wundt¹⁾ gegebenen Vorschrift berechnet. Der ziemlich große Raum der Gleichheitsschätzungen, sowie die Abweichungen derselben von einem constanten Mittelwerth sind durch die Schwierigkeit des Urtheils bedingt²⁾. So begegnete es auch mir, dass ein Beobachter direct folgende Angabe machte³⁾: »Es gibt eine Ebene, hinter der alle Kugeln Bilder von derselben Schärfe geben, vor dieser Ebene ist eine Schätzung

1) Wundt, *Physiol. Psychol.* 4. Aufl. I. Bd. S. 342 ff.

2) Arrer, Ueber die Bedeutung der Convergenz- und Accommodationsbewegungen für die Tiefenwahrnehmung. II. *Philos. Stud.* XIII. Bd. S. 222—224.

3) Diese Aussagen wurden nicht in den Reagenten hineingefragt, sondern auf die Frage nach den subjectiven Eindrücken und Hilfsmitteln für die Urtheilsbildung spontan gegeben.

vielleicht möglich, indem die Kugeln mit wechselnder Schärfe wahrgenommen werden«. Kurze Zeit später sagte der Beobachter: »Fixirmarke und fallende Kugel scheinen bei peinlichstem Ausschluss aller secundären Hilfsmittel innerhalb einer Ebene parallel dem Auge sich zu befinden. Der Eindruck wechselt, indem die Kugel in verschiedenem seitlichem Abstände von der Fixirmarke zu fallen scheint, und unter Umständen unsichere Contouren annimmt, was man als näher beurtheilt.« Diese subjectiven Wahrnehmungen stehen zwar nicht ganz in Einklang mit den Resultaten der Reihen, die für die verschiedenen Versuchspersonen innerhalb der Variationsgrenzen identische Werthe liefern, sie enthalten aber, wie sich später zeigen wird, einen Theil des thatsächlich Stattfindenden. Das Urtheil »näher als der Fixationspunkt« erfolgte in der Regel sicherer als das entgegengesetzte und ward auf Befragen als subjectiv leichter gewonnen angegeben. Die Versuchspersonen waren emmetrop, oder die Refraktionsanomalien in geeigneter Weise corrigirt. Als ich die Berechnung der Resultate begann, glaubte ich dieselben in unmittelbare Beziehung zu Kirschmann's Theorie setzen zu können und war daher durch ihre anscheinende Beziehung zu gewissen von v. Recklinghausen und Hering entwickelten Theorien überrascht. Die Tabellen geben zum Theil die Reihen und deren Resultate in etwas umgeordneter Form wieder.

Ein Theil der Reihen bezieht sich auf die erste Raumlage, d. h. die Vergleichsdistanz befand sich vom Beobachter aus gesehen auf der linken Seite, bildete sich also, da stets das rechte Auge benutzt wurde, auf der temporalen Netzhauthälfte ab. Der veränderliche Winkel der Linie des indirecten Sehens mit der Hauptvisirlinie werde mit α bezeichnet.

Tabelle I.

Weiße Kugeln. Blende I. $n = 105 \text{ cm.}$ $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_o	r_u	r_o	r_u		
I	Ha.	20	absteig.	157	153	161	12	12	12	12	52	$m_a < m_d$
II	»	23	aufsteig.	162	161	163	12	12	12	12	57	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				159,5	157	162	12	12	12	12		
III	We.	23	absteig.	193,75	204,5	183	13	14	10	12	88,75	$m_a > m_d$
IV	»	23	aufsteig.	199,75	204,5	195	13	14	10	12	94,75	$m_a > m_d$
V	»	22	absteig.	209,5	207	212	11	11	11	11	104,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				201,0	205,3	196,7	12,3	12,7	10,3	11,3		
VI	Moe.	21	absteig.	183,75	160	207,5	13	13	11	11	78,75	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				183,75	160	207,5	13	13	11	11		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. Ha.				159,5	157	162	12	12	12	12		
We.				201,0	205,3	196,7	12,3	12,7	10,3	11,3		
Moe.				183,75	160	207,5	13	13	11	11		
Gesamtmittel				184,29	181,66	186,92	12,3	12,66	11	11,66		

Reihe I und V enthalten extreme Werthe. Die zwei letzten, V und VI, wurden insofern unter anderen Bedingungen erhalten, als die indirect gesehenen Kugeln von einer Linie aus fallen gelassen wurden, die der Hauptvisirlinie parallel war, von dieser Anordnung ward jedoch bald abgegangen, da sich die in geringerer Distanz fallenden Kugeln zu dicht am Rande der Blende befanden.

Durch beliebiges Fallenlassen der Kugeln vor und hinter der Normaldistanz wurden die folgenden in zwei Gruppen geschiedenen Reihen erhalten.

Tabelle IIa.

Beobachter Weyer.

Blende II. Weiße Kugeln. $\alpha = 10^\circ$. $n = 105$ cm.

<i>v</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
209	=	hinten	=	hinten	hinten od. =
149	vorn	vorn	vorn	vorn	vorn
90	vorn	vorn	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.
161	vorn	vorn	vorn	vorn	vorn
161	vorn	=	vorn	= od. vorn	vorn
105	deutl. vorn	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn	vorn
105	deutl. vorn	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn	deutl. vorn
222	hinten	hinten	deutl. hinten	hinten	hinten
222	hinten	hinten	deutl. hinten	deutl. hinten	hinten
192	wenig vorn	hinten	hinten	=	=
95	sehr deutl. v.	deutl. vorn	sehr deutl. v.	deutl. vorn	deutl. vorn
180	vorn	wenig h. od. =	vorn	vorn	hinten
192	deutl. vorn	=	wenig vorn	hinten ?	hinten ?
95	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	vorn	deutl. vorn
105	deutl. vorn	vorn	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn
159	vorn	vorn	vorn	vorn	deutl. vorn
207	hinten	=	hinten	hinten	vorn
159	vorn	vorn	vorn	deutl. vorn	vorn
192	=	hinten	=	hinten	=
186	=	=	vorn	=	=
84	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.
186	vorn	hinten	hinten	=	vorn
198	?	=	hinten	=	= od. vorn
198	hinten	hint., nein v.	=	=	vorn
166	=	vorn	=	vorn	vorn
169	=	vorn	vorn	vorn	vorn
falsch:	20	17	17	17	18
Gesammtzahl der Fälle in jeder Reihe 26					

Tabelle IIb.

Beobachter Weyer.

Blende II. Weiße Kugeln. $\alpha = 10^\circ$. $n = 105$ cm.

v	$a,$	$b,$	$c,$	$d,$
159	vorn	vorn	vorn	deutl. vorn
159	vorn	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn
207	=	=	hinten	deutl. vorn
207	=	hinten od. =	hinten	=
84	deutl. vorn	deutl. vorn	sehr deutl. v.	deutl. vorn
198	vorn	=	=	=
198	=	=	hinten	vorn
105	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn	vorn
105	vorn	vorn	deutl. vorn	vorn
209	=	=	=	vorn
209	wenighinten	hinten	=?	hinten
90	vorn	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.	sehr deutl. v.
149	vorn	deutl. vorn	sehr deutl. v.	deutl. vorn
149	vorn	deutl. vorn	zieml. deutl. v.	deutl. vorn
161	vorn	vorn od. =	vorn	vorn
222	=?	wenighinten	vorn od. =	=
222	=?	hinten	hinten	=
192	wenig vorn	=	=	hinten
192	wenig vorn	vorn	hinten	vorn
159	vorn	vorn	vorn	vorn
186	vorn	vorn	vorn	vorn
186	vorn	vorn	vorn	vorn
149	vorn	vorn	vorn	vorn
135	vorn	deutl. vorn	deutl. vorn	vorn
192	vorn	=	=	vorn
136	vorn	vorn	vorn	vorn
falsch:	24	21	19	21
Gesammtzahl der Fälle in jeder Reihe 26				

Hier sind unter 234 Aussagen 176 falsch, d. h. 76,840%. Wenn man aber die einzelnen Columnen wie Reihen behandelt, umordnet und daraus Mittelwerthe (m_r) berechnet, so liegen diese innerhalb der aus Tabelle I hervorgehenden Grenzen; diese Bestimmungen sind zu wenig zahlreich, um diese Werthe abzuleiten. Wenn man als Ort der scheinbar gleichen Entfernung von Normal- und Vergleichsdistanz das Mittel der Werthe von m_r in Tabelle I = 184,2 setzt und Abweichungen von ± 8 zulässt, so verringert sich die Zahl der als falsch anzusehenden Urtheile. Wenn man nämlich nur die Urtheile als richtig gelten lässt, die für Entfernungen bis 176,2 cm »vor«, 176,2—192,2 »gleich« und für größere Entfernungen »hinten« lauten, so ergeben sich als falsch:

a	b	c	d	e
6	6	7	4	6
$a,$	$b,$	$c,$	$d,$	
11	8	7	10	

zusammen 65 falsche auf 234 richtige Urtheile, d. h. 27,715%. Wenn man als Gleichheitsintervall 170—207 cm zuließe, wäre fast kein falsches Urtheil vorhanden. Schon die Betrachtung dieser beiden Tabellen kann die Vermuthung nahe legen, dass die Fixirmarke, für deren Entfernungsschätzung überhaupt alle secundären Hilfsmittel fehlen, in der Wahrnehmung direct localisirt, und zwar in diesem Falle in eine weiter entfernte Ebene verlegt wird, die etwa 162—199 cm vom Beobachter entfernt ist; es scheint, dass z. Th. auch die variablen Distanzen in jene Ebene verlegt werden, was weiter zu besprechen sein wird.

Tabelle III.

Weisse Kugeln. Blende I. $n = 120$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Wi.	23	aufsteig.	198,75	205	192,5	15	15	7,5	7,5	78,75	$m_a > m_d$
II	»	30	aufsteig.	205	220	190	10	10	10	10	85	$m_a > m_d$
III	»	23	aufsteig.	201	217,5	195	15	10	15	15	81	$m_a > m_d$
IV	»	24	absteig.	190	185	195	10	10	5	5	70	$m_a < m_d$
V	»	24	aufsteig.	177	184	170	6	6	6	6	57	$m_a > m_d$
VI	»	23	aufsteig.	182	188	176	12	12	12	12	62	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				192,29	198,26	186,33	9,66	10,5	9,25	9,25		
VII	We.	26	aufsteig.	196	190	202	12	12	16	16	76,0	$m_a < m_d$
VIII	»	25	aufsteig.	193	190	196	8	8	12	12	73,0	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				194,5	190	199	10	10	14	14		
IX	Ha.	20	aufsteig.	179	172	186	18	18	18	18	59,0	$m_a < m_d$
X	»	21	aufsteig.	178,5	178	179	18	18	24	12	58,5	$m_a < m_d$
XI	»	21	absteig.	179	172	186	12	12	12	12	59,0	$m_a < m_d$
XII	»	15	absteig.	184,5	190	179	14	12	12	12	64,5	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				180,25	178	182,5	15,5	16,5	16,5	13,5		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. Wi.				192,29	198,26	186,33						
We.				194,5	190	199						
Ha.				180,25	178	182,5						
Gesamtmittel				188,98	188,75	189,27	11,72	12	13,25	12,25		

Davon waren III, V, VIII mit schwarzen Kugeln, die übrigen Reihen mit weissen Kugeln gewonnen; auch diese zeigen, dass der Einfluss der Helligkeitsänderung beim näheren oder entfernteren Fallen gleich null ist. Die nach der Methode der Minimaländerungen berechneten Werthe aus entsprechenden Reihen unter denselben Bedingungen sollen weiter unten behandelt werden. Die nächste bei demselben Winkel untersuchte Normaldistanz war 135 cm. Das Ergebniss von 23 Reihen ist in der nächsten Tabelle zusammengestellt:

Tabelle IV.

Weiße Kugeln. $n = 135$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	We.	21	aufsteig.	190	190	190	10	10	15	15	55	$m_a = m_d$
II	»	18	aufsteig.	196,25	202,5	190	7,5	7,5	15	15	61,25	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				193,125	196,25	190	8,75	8,75	15	15		
III	Ha.	21	aufsteig.	207,5	197,5	217,5	15	15	10	10	72,5	$m_a < m_d$
IV	»	24	aufsteig.	190,0	180	200	15	10	15	15	55,0	$m_a < m_d$
V	»	21	absteig.	195	192,5	197,5	15	20	15	15	60,0	$m_a < m_d$
VI	»	20	aufsteig.	186,5	173,0	200,0	15	15	15	15	51,5	$m_a < m_d$
VII	»	19	absteig.	195	182,5	207,5	15	15	15	15	60,0	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				194,8	185,5	204,3	15	15	14	14		
VIII	We.	18	aufsteig.	199,25	192,5	205	7,5	7,5	15	15	64,25	$m_a < m_d$
IX	»	15	absteig.	197,5	205	190	15	15	10	10	62,5	$m_a > m_d$
X	»	21	aufsteig.	207,75	220	197,5	10	10	10	10	72,75	$m_a > m_d$
XI	»	20	absteig.	200	210	190	10	10	10	10	65	$m_a > m_d$
XII	»	19	aufsteig.	197,5	210	185	10	10	10	10	62,5	$m_a > m_d$
XIII	»	20	aufsteig.	189,25	192,5	185	15	10	10	10	52,25	$m_a < m_d$
XIV	»	21	absteig.	198,75	210	187,5	10	10	7,5	7,5	63,75	$m_a > m_d$
XV	»	23	aufsteig.	215	220	210	10	10	10	10	80	$m_a > m_d$
XVI	»	21	absteig.	210	210	210	10	10	7,5	7,5	75	$m_a = m_d$
XVII	»	22	aufsteig.	215	225	205	10	10	10	10	80	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				203	209,55	196,5	10,75	10,25	10,0	10,0		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. We.				193,125	196,25	190						
Ha.				194,8	185,5	204,3						
We.				203	209,55	196,5						
Gesamtmittel				199,43	200,91	198,09	11,7	11,3	11,7	11,7		

Die drei letzten Reihen von Tabelle IV wurden ganz mit schwarzen Kugeln gewonnen; hier scheint im Gegensatze zu vorher ein ganz geringer Einfluss derselben vorhanden zu sein, derart, dass der Ort der scheinbaren Gleichheit in weitere Ferne verlegt wurde. Nach Abschluss der letzten Reihen äußerte der Beobachter spontan,

Tabelle V.
Beobachter We.

28. VI. 1897, 3—1/2⁵ Uhr; 29. VI, 2—1/2⁴ Uhr. Diffuse Beleuchtung. $\alpha = 10^\circ$. $n = 135$ cm. Blende I. Weiße Kugeln.

I (VIII)	II (IX)	III (X)	IV (XI)	V (XII)	VI (XIII)	VII (XIV)	VIII (XV)	IX (XVI)
110 vorn	205 hinten	125 v.	235 hint.	125 vorn	125 vorn	245 hinten	125 vorn	245 hinten
125 vorn	190 =	135 v.	220 hint.	140 vorn	140 vorn	235 hinten	135 s.deutl.v.	235 hinten
140 vorn	175 vorn	145 v.	210 hint.	155 vorn	155 vorn	225 hinten	150 vorn	225 hinten
155 vorn	160 deutl.v.	155 v.	200 hint.	170 vorn	170 vorn	215 hinten	165 vorn	215 hinten
170 vorn	145 deutl.v.	165 v.	190 hinten?	185 vorn	185 vorn	205 hinten	180 vorn	205 vorn
185 vorn	155 deutl.v.	175 vorn	180 deutl. v.	200 noch d.v.	200 v. od. =	195 hinten	195 vorn	195 vorn
200 hinten?	165 vorn	185 vorn	165 deutl. v.	210 =	210 =	180 vorn	205 vorn	180 vorn
215 hinten	175 vorn	195 v. wen. d.	150 deutl. v.	220 hinten	220 deutl. h.	165 vorn	215 =	165 vorn
230 hinten	185 vorn	205 =	135 deutl. v.	230 hinten	230 hinten	150 vorn	225 =	150 vorn
245 hinten	195 v. od. =	215 =	120 deutl. v.	240 deutl. h.	240 hinten	135 vorn	235 hinten	135 vorn
235 hinten	205 =	225 wen. fern.	130 deutl. v.	225 deutl. h.	225 hinten	150 vorn	245 hinten	150 vorn
220 hinten	215 =	235 hinten	145 deutl. v.	210 deutl. h.	215 hinten	165 vorn	230 hinten	165 vorn
205 =	225 hinten	245 hinten	160 deutl. v.	200 deutl. h.	205 hinten	180 vorn	220 hinten	180 vorn
190 vorn	235 hinten	230 hinten	175 vorn	190 =	195 hinten	190 vorn	210 =	190 vorn
175 vorn	245 hinten	215 hinten	190 vorn	180 =	185 = ?	200 vorn	200 vorn	200 =
160 vorn		205 =	200 vorn	170 vorn	175 vorn	210 =	190 vorn	210 =
145 vorn		195 =	210 =	155 vorn	160 vorn	220 hinten	180 vorn	220 hinten
135 vorn		180 vorn	220 hinten	140 vorn	145 vorn	230 weit h.	170 vorn	230 hinten
		165 s.deutl.v.	235 hinten	125 deutl. v.	130 vorn	240 weit h.	160 vorn	240 hinten
		150 vorn	245 hinten				150 vorn	
		135 vorn					140 s.deutl.v.	

ihm scheine, als ob Versuchs- und Urtheilsfehler hier nicht aufgetreten wären. Dagegen äußerte bei Reihe VII die Versuchsperson, es sei hier ein secundäres Hilfsmittel construierbar, indem die scheinbare rein seitliche Distanz variire und möglicherweise unbewusst ihre Größenänderung dem Urtheil über die Entfernung zu Grunde liege, ein Fehler, der durch Verschieben der Blenden und die schon erwähnte Parallelstellung nicht ganz zu beseitigen war. Diese Größenänderung ist für einen kleinen Winkel unbedeutend im Verhältnisse zum Intervall der anscheinenden Gleichheit, und den anderen Reagenten fiel sie nicht auf. Wegen der geringen Schwankungen der Werthe und ihrer Gleichartigkeit sei es gestattet, die Reihen VIII—XVI in eine Tabelle umgeordnet auf voriger Seite beizufügen. In derselben bedeutet hinten, dass die Vergleichsdistanz deutlich weiter ist als die Normaldistanz, vorn, dass sie deutlich geringer, also der Vergleichsreiz näher erscheint.

Tabelle VI.

Weiße Kugeln. Blende I. $n = 150$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	We.	25	aufsteig.	192,2	175	210	10	10	10	10	42,2	$m_a < m_d$
II	»	25	aufsteig.	205	200	210	10	10	5	5	55	$m_a < m_d$
III	»	26	aufsteig.	190	185	200	15	10	10	10	40	$m_a < m_d$
IV	»	23	absteig.	192,5	190	195	10	10	10	10	42,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				194,92	187,5	203,7	11,25	10	8,75	8,75		
V	Ha.	22	aufsteig.	192,5	195	190	15	15	15	15	42,5	$m_a > m_d$
VI	»	18	aufsteig.	190	190	190	15	15	15	15	40	$m_a = m_d$
Mittelwerthe				191,75	192,5	190	15	15	15	15		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. We.				194,92	187,5	203,7						
Ha.				191,75	192,5	190						
Gesamtmittel				193,7	189,2	199,2	12,5	11,7	10,83	10,83		

Tabelle VII.

Blende I. $n = 165$ cm. $\alpha = 10^\circ$. Weiße Kugeln.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	13	aufsteig.	189,25	192,5	186	15	15	15	15	24,25	$m_a > m_d$
II	»	12	absteig.	183,25	171	195,5	7,5	7,5	15	15	18,25	$m_a < m_d$
III	»	13	absteig.	193,0	186	200	15	15	15	15	28,0	$m_a < m_d$
IV	»	20	aufsteig.	195,75	194	197,5	18	18	18	9	30,75	$m_a < m_d$
V	»	19	absteig.	189,25	189	189,5	9	9	9	18	24,25	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				190,1	186,5	193,7	12,9	12,9	12,4	12,4		
VI	We.	21	aufsteig.	200,25	203	197,5	9	9	9	18	35,25	$m_a > m_d$
VII	»	20	aufsteig.	191,5	192	190,5	11	11	11	11	26,5	$m_a > m_d$
VIII	»	21	absteig.	191,25	192	190,5	11	11	9	9	26,25	$m_a > m_d$
IX	»	17	aufsteig.	186,75	181,5	192	11	11	9	9	21,75	$m_a < m_d$
X	»	23	aufsteig.	192,0	191,5	192,5	18	9	9	9	27	$m_a < m_d$
XI	»	19	absteig.	194,5	192,5	196	9	9	9	9	29,25	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				192,71	192,08	193,01	11,5	10	9,33	10,83		
XII	15	Ha.	aufsteig.	192	188	196	9	9	11	27		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. Ha.				190,1	186,5	193,7						
We.				192,71	192,08	193,01						
Ha.				192	188	196						
Gesamtmittel				191,56	189,42	193,64	11,9	11,1	10,3	12,3		

Tabelle VIII.

Weiße Kugeln. Blende I. $n = 180$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	19	aufsteig.	193,75	187	200,5	11	11	11	11	13,25	$m_a < m_d$
II	»	19	absteig.	191	195	187	11	11	11	11	11,0	$m_a > m_d$
III	»	16	aufsteig.	191	187	195	11	11	11	22	11,0	$m_a < m_d$
IV	»	18	absteig.	186,5	182	191	10	10	10	20	6,5	$m_a < m_d$
V	»	20	absteig.	186,5	187	186	10	10	10	10	6,5	$m > m_d$
VI	»	22	aufsteig.	184	182	186	10	10	10	20	4	$m_a < m_d$
VII	»	17	aufsteig.	201,5	206	197	10	10	10	10	21,5	$m > m_d$
VIII	»	23	aufsteig.	193,25	190,5	197	9	9	9	19	13,25	$m_a < m_d$
IX	»	19	aufsteig.	182,25	177,5	197	9	9	9	9	2,25	$m_a < m_d$
X	»	15	absteig.	185,25	189	181,5	9	9	7	10	5,25	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				189,5	188,3	191,5	10	10	9,8	14,2		
XI	R. M.	21	aufsteig.	184	199	189	8	9	10	9	4,0	$m_a > m_d$
XII	»	11	absteig.	192	193,5	190,5	9	9	16	19	12,0	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				188	196,25	189,75	8,5	9	13	14		
XIII	Wi.	21	absteig.	184,5	175	194	10	10	20	10	4,5	$m_a < m_d$
XIV	»	17	aufsteig.	192	184	200	20	10	10	10	12,0	$m_a < m_d$
XV	»	20	absteig.	187	185	189	10	10	10	10	7,0	$m_a < m_d$
XVI	»	19	aufsteig.	184,5	184	185	10	10	20	10	4,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				187	182	192	12,5	10	10	15		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. Ha.				189,5	188,3	191,5	10	10	9,8	14,2		
R. M.				188	196,25	189,75	8,5	9	13	14		
Wi.				187	182	192	12,5	10	15	10		
Gesamtmittel				188,7	187,72	191,4	10,4	9,9	11,7	13,1		

Tabelle IX.

Weiße Kugeln. Blende I. $n = 195 \text{ cm.}$ $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	We.	21	aufsteig.	223,5	223	224	7	7	7	7	23,5	$m_a < m_d$
II	»	21	aufsteig.	222,5	223	222	7	7	7	7	30,5	$m_a > m_d$
III	»	20	absteig.	219	216	222	7	7	7	7	24,0	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				222,5	221	224	7	7	7	7		
IV	Ha.	21	aufsteig.	215,5	209	222	7	7	3,5	3,5	20,5	$m_a < m_d$
V	»	17	absteig.	210,25	216	204,5	7	7	3,5	3,5	15,25	$m_a > m_d$
VI	»	23	absteig.	206,25	209	204,5	7	7	7	7	11,25	$m_a > m_d$
VII	»	16	aufsteig.	208,5	209	208	7	7	7	3,5	13,5	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				209,5	209,2	209,8	7	7	5,2	4,4		
VIII	He.	21	absteig.	184,5	194	175	9	18	9	9	- 9,5	$m_a > m_d$
IX	»	18	aufsteig.	193,25	198,5	184	9	18	9	9	- 1,75	$m_a > m_d$
X	»	21	aufsteig.	183,25	185	180,5	9	9	9	9	- 11,75	$m_a > m_d$
XI	»	21	absteig.	188,25	180,5	206,5	9	18	9	9	- 6,75	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				187,31	189,5	188,5	9	15,27	9	9		
Mittelw. d. 3 Versuchspers. We.				222,5	221	224						
Ha.				209,5	209,2	209,8						
He.				187,31	189,5	188,5						
Gesamtmittel				206,2	205,17	204,82	7,7	10,2	6,5	6,2		

Tabelle X.

Weiße Kugeln. Blende I. $n = 210$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	19	aufsteig.	212,5	225	207	25	15	22	22	2,5	$m_a > m_d$
II	»	20	absteig.	195,75	201,5	190	11	11	11	22	-14,25	$m_a > m_d$
III	»	15	aufsteig.	192,5	200	185	20	20	11	11	-17,5	$m_a > m_d$
IV	»	12	absteig. (Theil)	202	202,5	201,5	11	11	22	11	- 8,0	$m_a > m_d$
V	»	17	aufsteig.	195,25	200	190,5	11	11	11	11	-14,75	$m_a > m_d$
VI	»	16	aufsteig.	205	201,5	208,5	9	9	18	9	- 5	$m_a < m_d$
VII	»	17	absteig.	196,5	198	195	18	18	9	18	-12,5	$m_a > m_d$
VIII	»	17	aufsteig.	191,75	197,5	186	18	18	9	18	-13,25	$m_a > m_d$
IX	»	22	absteig.	205	199,5	210,5	9	9	18	9	- 5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				199,58	202,5	197,1	13,6	13,4	14,5	14,5		
X	Moe.	17	aufsteig.	201,0	192,5	209,5	9	18	18	9	- 9,0	$m_a < m_d$
XI	»	19	absteig.	203,5	205	202	9	9	18	9	- 6,5	$m_a > m_d$
XII	»	15	aufsteig.	201,25	202	200,5	9	9	9	9	- 8,75	$m_a > m_d$
XIII	»	15	absteig.	198,75	200,5	197	9	9	9	9	-11,25	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				202,25	200	204	9	11,2	13,5	9		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. Ha.				199,58	202,5	197,1						
Moe.				202,25	200	204						
Gesamtmittel				200,51	201,8	198,7	10,8	12,8	14,1	12,1		

Tabelle XI.

Blende I, Blende II. Weiße Kugeln. $n = 225$ cm. $\alpha = 10^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	22	aufsteig.	202	201,5	202,5	9	18	18	9	-23	$m_a < m_d$
II	»	21	aufsteig.	204,25	201,5	207	9	18	18	9	-20,75	$m_a < m_d$
III	»	20	absteig.	198	192,5	203,5	9	18	18	9	-27	$m < m_d$
IV	»	20	aufsteig.	193,5	194,5	192,5	9	9	9	18	-31,5	$m_a > m_d$
V	»	31	absteig.	199	199	199	9	18	18	9	-26	$m_a = m_d$
VI	»	32	aufsteig.	200,75	192,5	209	9	9	18	18	-24,25	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				199,6	196,92	202,25	9	15	16,5	12		

In der zweiten Reihe Wechsel der Blende, im absteigenden Theile derselben wird Blende I durch Blende II ersetzt und letztere beibehalten.

Tabelle XIII.

Blende II. $n = 120$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	We.	21	aufsteig.	190,5	202,5	179,5	11	13	11	22	70,5	$m_a < m_d$
II	»	21	absteig.	185,5	185	186	22	11	11	11	65,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				188	193,5	182,75	16,5	12	11	16,5		
III	Ha.	21	aufsteig.	177,75	180,5	175	9	9	9	9	57,75	$m_a > m_d$
IV	»	15	absteig.	177,75	179,5	176	9	9	9	9	57,75	$m_a > m_d$
V	»	17	aufsteig.	180,0	185	175	9	9	9	9	60,0	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				178,17	181,7	175,3	9	9	9	9		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. We.				188	193,5	182,75						
Ha.				178,17	181,7	175,3						
Gesamtmittel				182,1	186,4	178,3						

Tabelle XII.

Blende II. $\alpha = 15^\circ$. $n = 105$ cm. Weiße Kugeln.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	29	aufsteig.	158,5	160	175	9	26	24	12	53,5	$m_a > m_d$
II	»	25	aufsteig.	168,5	178	159	12	12	24	12	63,5	$m_a > m_d$
III	»	21	aufsteig.	164,5	169	162	12	12	24	12	59,5	$m_a > m^d$
IV	»	23	aufsteig.	165,5	164,5	166,5	13	13	17	14	60,5	$m_a < m_d$
V	»	25	aufsteig.	164	163	165	25	15	18	15	59,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				164,2	166,9	165,5	14,2	15,6	21,4	13		
VI	We.	19	aufsteig.	186	193	179	15	15	15	13	81	$m_a > m_d$
VII	»	25	aufsteig.	187,5	180	195	10	10	20	10	82,5	$m_a < m_d$
VIII	»	26	absteig.	175	175	175	10	10	10	10	70,0	$m_a = m_d$
Mittelwerthe				182,83	182,6	183	11,7	11,7	15	11		
IX	R. M.	22	absteig.	188,25	184	192,5	13	13	7,5	7,5	83,25	$m_a > m_d$
X	»	29	aufsteig.	188	179	197	5	5	5	5	83	$m_a < m_d$
XI	»	27	absteig.	176	179	173	5	5	5	5	71	$m_a > m_d$
XII	»	21	absteig.	183,5	182,5	185,5	7	6	5,5	5,5	78,5	$m_a < m_d$
XIII	»	20	aufsteig.	178,5	172,5	185,5	7,5	7,5	10	15	75,5	$m_a < m_d$
XIV	»	21	absteig.	180,75	181	180,51	12	12	11	10	75,75	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				182,5	181,1	183,4						
XV	Moe.	25	aufsteig.	193	182	204	10	10	10	12		
Mittelw. d. 4 Versuchspers. Ha.				164,2	166,9	165,5						
We.				182,83	182,6	183						
R. M.				182,5	181,1	183,4						
Moe.				193	182	204						
Gesamtmittel				117,17	176,77	177,66						

Tabelle XIV.

Blende II. $n = 135$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	21	aufsteig.	184,25	181,5	187	11	11	11	23	49,25	$m_a < m_d$ $m_a > m_d$ $m_a < m_d$ schw. Kugeln
II	»	20	absteig.	184,5	192	177	11	11	11	11	49,5	
III	»	20	aufsteig.	189	182	196	22	11	11	11	54	
Mittelwerthe				185,88	185,16	186,6	14,6	11	11	15		
IV	We.	21	absteig.	181,25	180	182,5	9	8	9	9	46,25	$m_a < m_d$
V	»	21	aufsteig.	181,5	187	176	9	9	9	17	46,5	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				181,37	183,5	179,25	9	8,5	9	13		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. Ha.				185,88	185,16	186,6						
We.				181,37	183,5	179,25						
Gesamtmittel				184,1	184,5	183,7						

Tabelle XV.

Blende II. $n = 150$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	We.	19	absteig.	196,25	198	194,5	9	18	9	9	46,25	$m_a > m_d$ $m_a < m_d$
II	»	19	aufsteig.	194	190	198	9	9	9	9	44,0	
Mittelwerthe				195,125	194	196,25	9	13,5	9	9	39,0	
III	Ha.	22	absteig.	189	192,5	185,5	9	18	9	9	39,0	$m_a > m_d$
IV	»	19	aufsteig.	191,25	190,5	192	9	9	9	9	41,25	$m_a > m_d$
V	»	21	absteig.	186,75	190,5	183	9	18	9	18	36,75	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				189	191,16	186,86	9	15	9	12		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. We.				195,125	194	196,25						
Ha.				189	191,16	186,86						
Gesamtmittel				191,45	192,3	190,4						

Tabelle XVI.

Blende II. $n = 165$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Wi.	19	aufsteig.	203,75	205	202,5	8	8	13	16	37,75	$m_a > m_d$
II	»	13	absteig.	182	183	181	7,5	7,5	10	10	17	$m_a > m_d$
III	»	14	absteig.	179,5	193	166	15	15	10	10	14,5	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				188,42	193,7	183,16	10,16	10,16	11	12		
IV	We.	18	aufsteig.	194,4	203	195,5	10	10	10	10	29,5	$m_a < m_d$
V	»	11	aufsteig.	199,25	203	195,5	13	13	6,5	6,5	34	$m_a > m_d$
VI	»	25	aufsteig.	200,75	202,5	199	7,5	7,5	5	5	35,75	$m_a > m_d$
VII	»	14	aufsteig.	200,5	196	205	10	10	10	10	35,5	$m_a < m_d$
Mittelwerthe				198,75	197,6	200,12	10,1	10,1	7,87	7,87		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. Wi.				188,42	193,7	183,16						
We.				198,75	197,6	200,12						
Gesamtmittel				194,32	195,8	192,86						

Tabelle XVII.

Blende II. $n = 180$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_o	r_u	r_o	r_u		
I	We.	19	aufsteig.	209,5	214	205	8	8	8	8	29,5	$m_a > m_d$
II	»	19	absteig.	201,5	202	201	8	8	8	8	12	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				205,5	208	203	8	8	8	8		
III	Moe.	23	aufsteig.	205,5	210	201	8	8	8	8	27,5	$m_a > m_d$
IV	»	23	absteig.	215,5	226	205	8	8	8	8	35,5	$m_a > m_d$
V	»	15	absteig.	203,5	206	201	8	8	8	16	23,5	$m_a > m_d$
Mittelwerthe				208,16	213	202,6	8	8	8	10,6		
Mittelw. d. 2 Versuchspers. We.				205,5	208	203						
Moe.				208,16	213	202,6						
Gesamtmittel				207,1	211,6	202,6						

Tabelle XVIII.

Blende II. $n = 195$. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_o	r_u	r_o	r_u		
I	We.	18	absteig.	219	222	216	8	7	7	7	22	$m_a < m_d$
II	»	18	aufsteig.	210,25	216	204,5	7	7	14	7	15,5	$m_a > m_d$
III	»	17	aufsteig.	206,75	209	204,5	7	7	7	7	11,75	$m_a > m_d$
IV	»	14	aufsteig.	206,75	209	204,5	7	7	14	7	11,75	$m_a > m_d$
V	»	17	absteig.	202,75	197,5	208	7	7	7	7		
				209,1	210,7	207,5	7,2	7	9,8	7		

Tabelle XIX.

Blende II. $n = 210$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm. in der Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um d. Ort der scheinb. Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	m_a		m_d			
							r_u	r_o	r_u	r_o		
I	Ha.	19	aufsteig.	200,5	192	209	10	10	10	20	— 8,5	$m_a < m_d$
II	»	18	absteig.	203,75	205,5	202	10	20	10	10	— 4,5	$m_a > m_d$
III	»	17	aufsteig.	213,5	213	214	10	10	10	10	+ 3,5	$m_a < m_d$
IV	»	18	absteig.	210,5	209	212	10	10	10	20	0,5	$m_a < m_d$
V	»	19	aufsteig.	210,5	222	199	10	10	10	10	1,5	$m_a > m_d$
				207,85	208,3	207,3	10	12	10	14		

Tabelle XX.

Blende II. $n = 225$ cm. $\alpha = 15^\circ$.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Einzel- bestim- mungen in d. Reihe	Richtung der Reihe	Mittelwerthe			Variationen um den Ort der scheinbaren Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$
				m_r	m_a	m_d	r_u	m_a	r_o	r_u	m_d	r_o
I	Ha.	16	aufsteigend	200,5	201,5	199,5	18	18	9	9	9	
II	„	24	absteigend	198	199	197	9	9	9	9	9	
			Mittelwerthe	199,25	200,25	198,25	13,5	13,5	9	9	9	
I	We.	15	absteigend	196	195	197	9	9	9	9	9	
II	„	22	aufsteigend	200,5	197	204	9	18	9	9	9	
III	„	22	aufsteigend	198,25	201,5	195	18	9	9	9	9	
			Mittelwerthe	198,25	197,83	194,67	12	12	9	9	9	
Mittelwerthe d. 2 Versuchspersonen. Ha.				199,25	200,25	198,25						
We.				198,25	197,83	194,67						
Gesamtmittel				198,65	198,8	198,5						

Tabelle XXI.
Gesamtmittelwerthe.

Nr. der Tabelle	Anzahl der in den Tabellen mitgetheilten Reihen	α	n	Mittelwerthe		
				m_r	m_a	m_d
I	6	10°	105	184,29	181,66	186,92
III	12		120	188,98	188,75	189,27
IV	17		135	199,43	200,91	198,09
VI	6		150	193,7	189,2	199,2
VII	12		165	191,56	189,42	193,64
VIII	16		180	188,7	187,72	191,4
IX	11		195	206,2	205,17	204,82
X	13		210	200,51	201,8	198,7
XI	6		225	199,6	196,92	202,25
XII	15	15°	105	177,17	177,77	177,66
XIII	5		120	182,1	184,4	178,3
XIV	5		135	184,1	184,5	183,7
XV	5		150	191,45	192,3	190,4
XVI	7		165	194,32	195,8	192,86
XVII	5		180	207,1	211,6	202,6
XVIII	5		195	209,1	210,7	207,5
XIX	5		210	207,85	208,3	207,3
XX	5		225	198,65	198,8	198,5

III. Versuche mit Ausschaltung der Accommodation.

Nachdem diese Versuche bei einer bestimmten mit dem Abstände der Visirmarke wechselnden Accommodation ausgeführt waren und ergeben hatten, dass die Localisation der monocularen Wahrnehmungen bei diesen Fallversuchen annähernd in einer bestimmten Fläche stattfindet, deren Lage für eine Reihe von Versuchspersonen nahezu übereinstimmt, und die mit zunehmender Entfernung, wie das geringe Wachsthum der Mittelwerthe lehrt, nur in geringem Grade ferner zu rücken scheint, wurde untersucht, ob diese Localisation dieselbe bleibe, wenn man die Accommodation ausschalte oder zu ihrem

Maximalwerthe steigern; beides lässt sich auf zweierlei Weise erreichen. Wenn man ein weit entferntes Object fixirt, sodass die Augenachsen parallel stehen, stellt sich das Auge auf seinen Fernpunkt ein; für den Strahlengang kommt dann nur die Refraction des Auges in Betracht, und je nachdem das Auge myopischen, emmetropischen oder hypermetropischen Bau besitzt, liegt dieser in endlicher oder unendlicher Entfernung vor dem Auge, oder bei Hypermetropie in endlicher Entfernung hinter der Netzhaut. Diese Accommodationsentspannung kann man willkürlich erzielen, indem die Convergenz innerhalb gewisser Grenzen dem Willen unterworfen ist. Wenn man aber so vorzugehen sucht und die Stellung der bulbi dabei beobachtet, so zeigt die dabei immer wieder auftretende Convergenz, wie schwierig die Ausschaltung der Accommodation auf diese Weise ist. Daher wurde der andere mögliche Weg, die Atropinwirkung, benutzt. Diese besteht darin, dass die peripheren Oculomotoriusendigungen gelähmt werden; darauf beruht die Mydriasis und die Entspannung der Zonula Zinnii. Die bei der Mydriasis in Betracht kommende Wirkung der Sympathicusfasern könnte noch durch Cocain verstärkt werden. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass 1—2 Tropfen einer 1 % Homatropinlösung mit einem Pinselchen in den Conjunctivalsack gebracht wurden, Festhalten des unteren Lides verhinderte den Abfluss der Lösung durch den Thränen canal, und nachdem etwa 15 Minuten später durch Leseprobeversuche die Homatropinwirkung constatirt war, wurden die Fallversuche ausgeführt. Hierfür wie für die Eserinversuche, auf die weiter unten eingegangen wird, hatte ich außer mir nur zwei Reagenten. Als Resultat ergab sich, dass die Localisation durch die Homatropinwirkung nicht beeinflusst wird, also bei dieser Art von Versuchen unabhängig ist von der Pupillenweite und der Accommodation. Die folgende Tabelle gibt die wesentlichen Ergebnisse wieder:

Tabelle XXII.

Blende II. $\alpha = 10^\circ$.

Versuche mit Homatropin.

Nr.	Beob- achter	Anzahl d. Ein- zelbestimm.	Richtung der Reihe	n	Mittelwerthe			Variationen um den Ort der scheinbaren Gleichheit				$m_r - n$	$m_a : m_d$	Gesammtmittel für die analogen Werthe v. n bei Accomodat.		
					m_r	m_a	m_d	r_u	m_a	r_o	r_u	r_o		m_r	m_a	m_d
I	We.	21	aufsteig.	150	191,75	190	192,5	15	10	10	10	10	$m_a < m_d$			
II	»	21	absteig.	150	201,37	207,75	195	10	10	10	10	10	$m_a > m_d$	42,5		
III	»	21	absteig.	150	171,75	162,5	180	10	10	10	10	15	$m_a < m_d$	51,37		
														21,75		
			Mittelwerthe		188,29	186,75	189,1	11,6	10	10	10	11,6		193,7	189,2	199,2
IV	Ha.	21	aufsteig.	165	178,25	166	190,5	18	18	11	11	11	$m_a < m_d$			
V	»	20	absteig.	165	182,75	177	188,5	11	11	22	22	22	$m_a < m_d$	13,25		
VI	»	21	aufsteig.	165	185	184	186	22	22	11	11	11	$m_a < m_d$	17,75		
VII	»	21	absteig.	165	189,5	199,5	179,5	11	11	11	11	11	$m_a < m_d$	20		
													$m_a > m_d$	24,5		
			Mittelwerthe		183,87	181,62	186,1	15,4	15,4	13,75	13,75	13,75		191,56	189,42	193,64
VIII	Ha.	22	aufsteig.	180	193,25	197	189,5	8	8	17	16	16	$m_a > m_d$			
IX	»	20	absteig.	180	195	197,5	192,5	9	11	8	8	8	$m_a > m_d$	13,25		
X	»	21	aufsteig.	180	193	201	185,0	8	8	9	11	11	$m_a > m_d$	15,0		
XI	»	22	absteig.	180	201,5	206	197	8	9	8	8	8	$m_a > m_d$	13,0		
														21,5		
			Mittelwerthe		195,69	200,4	190,9	8,25	9	10,5	10,7	10,7		188,7	187,72	191,4
XII	Ha.	18	aufsteig.	210	196,25	187,5	205	18	18	9	9	9	$m_a > m_d$			
XIII	R. M.	12	absteig.		191	192	190	10	20	10	10	10	$m_a > m_d$	— 13,75		
XIV	»	13	aufsteig.		180	180	180	20	10	20	20	10	$m_a = m_d$	— 19		
XV	»	12	absteig.		180	180	180	20	20	20	20	10	$m_a = m_d$	— 30		
														— 30		
			Mittelwerthe		183,7	184	183,2	10,7	10,7	10	10	10,7		200,51	201,8	198,7

Da die Zahlen für $\alpha = 15^\circ$ fast dieselben sind, so ist eine Reproduction derselben überflüssig, man gewinnt auch aus diesen Zahlen den Eindruck, dass innerhalb der Grenzen, die mit den Fallversuchen geprüft werden können, das flächenhafte Gebilde, in dem die monoculare Localisation stattfindet, nicht in bemerkbarer Weise von einer Ebene abweicht, dazu sind schon von Versuch zu Versuch die Variationen der Localisation zu große.

Im Gegensatze zu dem Versuche mit Homatropin wurden auch solche mit Eserin ausgeführt, das ebenfalls in 1 % Lösung in derselben Weise wie das Homatropin applicirt wurde. Indem dieses eine Reizung der peripheren Oculomotoriusfasern zur Folge hat, treten bei seiner Anwendung eine Myosis und Accommodationsanspannung auf; bei letzterer wirken die circulären und schräg gerichteten Fasern des Corpus ciliare, das in derselben Weise wie der Sphincter iridis als Ringmuskel functionirt. Indem dieser Ring enger wird, erschlafft die Zonula Zinnii, das Aufhängeband der Linse, und diese kann die Gestalt annehmen, die ihr vermöge ihrer Elasticität zukommt. Indem diese Elasticität sowohl bei den verschiedenen Refraktionszuständen des Auges wie bei verschiedenem Lebensalter verschieden ist, werden die Grenzverhältnisse des Accommodationsbereiches ziemlich complicirte. Diese im wesentlichen von Helmholtz entwickelte Theorie der Accommodation nimmt Beziehungen zwischen dem Muskel und dem von ihm passiv abhängigen Organe an, die in der Muskelmechanik durchaus einzig dastehende sind. Daher hat es nicht an Versuchen gefehlt, den Accommodationsvorgang auf andere Weise zu erklären, und zwar aus der Contraction der Brücke'schen Muskelfasern im Corpus ciliare und des Wittich'schen Muskels; die Brücke'schen Fasern lassen sich nämlich unter der Retina fast bis zum Sehnerveneintritte verfolgen; da ihr fester Punkt im Corpus ciliare liegt, so hätte ihre Contraction eine Lageänderung der Netzhaut zur Folge, die keineswegs zu vernachlässigen ist, da die von Arlt genauer untersuchte Abweichung der Retinakrümmung von einer sphärischen Fläche mit zu den Correctionsvorrichtungen der dioptrischen Fehler beim peripheren Sehen gehört.

Die Ergebnisse der Eserinversuche tragen einen noch weniger constanten Charakter wie die beim accommodirten und accommodationslosen Auge; soweit aus den gewonnenen Zahlen ein Schluss

zulässig ist, findet eine constante Lageänderung der Localisationsfläche nicht statt. Die Unsicherheiten des Urtheils sind .z. Th. wenigstens von den allgemeinen Veränderungen des Sehfeldes abhängig. Man muss in der That diese Versuche an sich selbst gemacht haben, um zu sehen, in welch' hochgradiger Weise die subjectiv empfundene Helligkeit von der Pupillenweite beherrscht wird. Diese betrug nach ungefähren Messungen mit Loupe und Millimeter-scala etwa 1,8 mm, während die Helligkeit im Verhältniss zum anderen Auge, dessen Pupillenweite etwa 6 mm betrug, auf etwa $\frac{1}{3}$ herabgesetzt war. Die subjectiv unangenehmen Nebenerscheinungen, Schmerzen im bulbus, die Unmöglichkeit, das Auge in den nächsten Stunden zum binocularen Sehen zu verwenden, die Entstehung von Doppelbildern, ließen mich keine genügende Anzahl von Reihen gewinnen, aus denen die in anderen Beziehungen als denen der Raumwahrnehmung sicher vorhandenen Eigenthümlichkeiten des Sehens bei maximaler Accommodation und Myosis zu ersehen wären, worin eine Unvollständigkeit der Arbeit liegt.

Der andere Weg zur Erzielung einer maximalen Accommodation war deshalb nicht zu benutzen, weil bei ihm die Convergenzempfindungen von positivem Einflusse sind. Er besteht in dem Eintreten maximaler Accommodation bei Fixirung von Objecten, die zwischen dem Auge und dem Fernpunkte zu denken sind, bei willkürlichem Strabismus convergens. Auch hier tritt eine Verengerung beider Pupillen ein, die aber sehr viel schwächer als die durch Eserin hervorgerufene ist; zu bemerken ist, dass die subjective Empfindung der Spannung im bulbus auch hier auftritt.

Die Versuche ergeben also, dass sowohl im accommodirten wie im accommodationslosen Auge monocular wahrgenommene Eindrücke nicht räumlich unterschieden, sondern in eine Fläche verlegt werden, die unter den realisirten Versuchsbedingungen annähernd 190 cm vom Auge entfernt ist.

IV. Theoretische Discussion der Versuche.

Eine Prüfung der Theorie Kirschmann's hätte, um vollständig zu sein, nach mehreren Richtungen zu erfolgen. Außer der Behandlung der anderen Motive der Raumwahrnehmung wäre zu

untersuchen, welche Bedeutung die Zerstreuungskreise sonst für unsere Gesichtswahrnehmungen haben. Wenn derartige mathematische Erörterungen vollkommen exact auf Grund der zahlenmäßigen Angaben erfolgten, wie wir sie den Arbeiten von Listing, Helmholtz, Mandelstamm, Knapp und Arlt verdanken, so wäre deren Resultat durchaus entscheidend, sodass dem Experimente nur verificirende Bedeutung zukäme. Da aber eine solche Arbeit zunächst fehlt und der Sachverhalt, gerade so wie dies die Arbeiten von Otto Fischer und Wilhelm Braune für die Mechanik der Muskeln und Gelenke gezeigt haben, eine viel complicirtere mathematische Behandlung erfordert, als bisher geleistet worden ist, so ist auch in der Herbeiziehung der rechnerischen Resultate Badal's und Salzmann's keine Instanz für oder gegen diese Theorie zu erblicken, und die Discussion wird sich auf dem Boden allgemeiner Raisonnements zu halten haben. Eine brauchbare Behandlung der Bildentstehung im menschlichen Auge hätte, so scheint es mir wohl, namentlich mit der Strahlengangdiscussion zu brechen und an deren Stelle von den von Huygens gegebenen Constructionen der Wellenfläche auszugehen, wie dies für die Theorie der optischen Instrumente von Abbe in Jena bzw. von Czapsky (Theorie der Linsen p. 136—301, nach Abbe in Winkelmann's Handbuch der Physik) gegeben ist; die Unzulänglichkeit des Helmholtz'schen Integrals der Helligkeitsvertheilung über einen Zerstreuungskreis, das mit Sehschärfebestimmungen beim Sehen in Zerstreuungskreisen nicht übereinstimmt, weist auf den Einfluss von Beugungs- und Interferenzerscheinungen hin.

Wenn nun auch der flächenhafte Charakter des monocularen Gesichtsfeldes in ziemlich einfacher Weise ableitbar ist, so wurde doch versucht, die Lage der monocularen Localisationsfläche mit dem binocularen Sehacte in Beziehung zu setzen. So zeigte von Recklinghausen in einer Arbeit über Netzhautfunctionen, die er unter der Leitung von C. Ludwig anstellte¹⁾, dass wir gerade Linien nur dann senkrecht auf der Medianebene unseres Körpers sehen, wenn sie in der Fläche der Durchschnittslinien der identischen Richtungsebenen liegen. Punkte außerhalb dieser Fläche im Raume verlegen

1) Arch. f. Ophthalm. V. 2. 1859. S. 127.

wir entsprechend der Größe ihres Abstandes diesseits oder jenseits derselben, wir beziehen sie also auf jene Fläche, die von Recklinghausen als Normalfläche bezeichnet. Es ließe sich nach dieser Theorie bei Ausschluss der anderen Hilfsmittel der Tiefenwahrnehmung annehmen, dass wir Objecte längs ihrer Richtungsstrahlen nicht beliebig in den Raum versetzen, sondern dass wir vielmehr hierzu Punkte der Richtungsstrahlen auswählen, die in einer bestimmten Beziehung zur Normalfläche und zum Fixationspunkte stehen. Für das binoculare Sehen lassen sich darüber aus der seitlichen Wanderung der Netzhautbilder Anhaltspunkte gewinnen. Wenn dieses Moment fortfällt, so werden alle Punkte des Raumes trotz der verschiedensten Tiefendistanzen in die Normalfläche verlegt, deren Lage man aus den Deckungsverhältnissen zweier Doppelbilder berechnen kann. Man findet dann, dass die Normalfläche für centrales Sehen annähernd eben, für das periphere Sehen dagegen gekrümmt erscheint. Diese binocular gewonnene Normalfläche wird dann von Recklinghausen als bestimmend auch für die Localisation monocular gesehener Raumpunkte angesehen, da hier die sonst wesentlichsten Hilfsmittel der Tiefenlocalisation, stereoskopische Effecte und Convergempfindungen, auszuschließen seien. Diese Ableitung ist aber keineswegs unangegriffen geblieben, Helmholtz wies vielmehr den Zusammenhang der von Recklinghausen bemerkten Erscheinung¹⁾ mit den Bewegungsgesetzen des Auges nach²⁾.

Die Beziehungen auch des monocularen Sehens zum Horopter lassen sich jedoch in sehr prägnanter Weise bei der Analyse höhendistanter Doppelbilder verfolgen, wie sie bei Paralyse oder Parese eines sogenannten Höhenmuskels, durch mechanisches Empordrängen des Bulbus (Tumoren der Orbita und des Antrum Highmori) oder durch Prismen erzeugt werden können; oft scheint das tiefer stehende Bild dem Beschauer näher zu stehen, und die Bilder werden als verschieden groß angegeben, wie dies v. Graefe zuerst bei Trochlearislähmung sah. Dieser erklärte die Erscheinungen aus einer Verschiebung des Drehpunktes des Auges nach hinten. Dagegen wandte

1) Vergl. auch die Darstellung derselben in Wundt, *Physiol. Psychol.* 4. Aufl. 2. Bd. S. 129.

2) Helmholtz, *Physiol. Optik*, 1. Aufl. S. 548.

sich Foerster¹⁾. Er betonte, dass eine nach vorne ziehende Componente im obliquus superior nicht nachweisbar sei, weshalb auch der Trochlearisparese kein Enophthalmus entspreche, und die entgegengesetzten Täuschungen kämen bei Exophthalmus trotz der thatsächlich vorhandenen Drehpunktverlagerung nicht vor. Dafür gibt Foerster, auf dem Boden der Identitätslehre stehend, folgende Erklärung: das eine Bild auf der Retina kann nur rechts oder links über oder unter dem Punkte liegen, welcher dem Bilde auf der Netzhaut des anderen Auges entspricht, die Entfernung der einzelnen Bilder ist überhaupt nicht der unmittelbaren Wahrnehmung zugänglich. Fixirt man einen Punkt auf einer horizontalen Fläche, so liegen die Bilder aller entfernteren Punkte auf der unteren Partie der Netzhaut, die Bilder der Punkte diesseits vom fixirten Punkte auf der oberen Netzhautpartie. So entspringe es der Gewohnheit, Gegenstände für näher zu halten, die sich oberhalb der Macula abbilden. Dieser Meinung schloss sich auch Alfred Graefe an²⁾, er bestritt nur einige der allgemeinen Folgerungen Foerster's. Vom Standpunkte der Projectionslehre aus behauptete Nagel, zur Localisation der Doppelbilder dienten im allgemeinen sphärische Flächen von gleichem Radius, deren Mittelpunkte die Kreuzungspunkte der Projectionslinien in beiden Augen sind. Bei hinlänglich großem Radius kann man sich diese beiden Projectionssphären in eine zusammenfallend denken. Indem die Projectionsfläche ihre Concavität gegen den Körper gerichtet hat, sollen Objecte, die unter dem horizontalen Meridian der Projectionsfläche liegen, dem Körper näher zu sein scheinen, als solche, die sich im horizontalen Meridian befinden. Wenn auch die Lothe solcher Punkte der Projectionsfläche auf die Frontalebene des Körpers verschiedene Größe haben, so müssten doch beide Bilder dem Auge gleichweit entfernt erscheinen wegen der Gleichheit der Kugelradien. Außer dieser logischen Inconsequenz müssten nach Nagel's Theorie auch bei einfacher Lateraldistanz der Doppelbilder, wie sie etwa bei Abducenslähmungen auftritt, das laterale Bild näher als das mediale gesehen werden, was, wie die Beob-

1) XXXVII. Jahresbericht der schlesischen Gesellschaft f. vaterländ. Cultur. Med. Sect.

2) Arch. f. Ophthalm. VII.

achtung zeigt, niemals der Fall ist. Die physiologisch-constructive Ableitung versagt hier, das Kleinersehen des nächststehenden Doppelbildes beruht nach Helmholtz' Ausdrucksweise auf einem secundären unbewussten Schlussverfahren, oder mit der Bezeichnung Wundt's, die den thatsächlichen Verhältnissen mehr entspricht, einer associativen Synthese. Von zwei Gegenständen halten wir den uns näher erscheinenden für kleiner, wenn sein Bild auf der Retina ebenso groß ist, wie das Bild eines fernerer Gegenstandes. Die Verallgemeinerung Foerster's, dass wir denselben Gegenstand mit dem oberen Theile der retina stets etwas kleiner, mit dem unteren etwas größer sehen, wurde auch von Alfred Graefe verworfen. Wie Helmholtz gezeigt hat, ist die Localisation perpendicular übereinanderliegender Punkte eine sehr genaue; er erkannte bei Nahversuchen sogar die Verschiebung, wenn diese nur 0,25 mm aus der Verticalebene betrug. In seinem Lehrbuche der Augenmuskellähmungen sagt Mauthner, auf der supramacularen Retina bilden sich sowohl die vor, als auch die unter dem fixirten Punkte gelegenen Objecte ab. Wenn bestimmende Anhaltspunkte für die Localisation des supramacular abgebildeten Punktes fehlen, so wird dieser weder gerade vor, noch gerade unter, sondern vor und unter den fixirten Punkt verlegt. Diese Localisirung sei eine Art Mittelstellung, die sich nur aus dem Mangel positiver Anhaltspunkte ergebe. Da aber schon die Genauigkeit der Localisation in den Verticalebenen gegen Mauthner spricht, so fragt es sich, ob keine positiven Instanzen dafür vorhanden sind, dass wir einen auf der oberen Netzhauthälfte sich abbildenden Punkt bald vor, bald unter, bald hinter und unter das fixirte Object verlegen. Helmholtz betonte den Einfluss des Horopters für das räumliche Sehen: »Ich finde, dass die Raumanschauung durch das binoculare Sehen ihre größte Genauigkeit erreicht für diejenigen Objecte, die im Horopter liegen, und desto ungenauer wird, je weiter sich die Objecte vom Horopter entfernen«¹⁾. Wegen der Beziehungen des Horopters zu den Doppelbildern behauptet Sachs²⁾, dass die Querdissparation derselben es sei, welche die Localisation

1) Graefe's Arch. f. Ophthalm. X. 1. S. 31.

2) Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 1. 1890. S. 201.

vermittele. Die Anschauung der älteren Physiologen, dass die Doppelbilder, die im indirecten Sehen wahrgenommen werden, in die Ebene des fixirten Objectes verlegt werden, ist längst als unrichtig zurückgewiesen durch Hering's Fallversuch, der seit jeher als feinste Probe des binocularen Sehens gilt und auf der richtigen Doppelbildlocalisation beruht. »Die Accommodation ist nicht im Stande, körperliches Sehen zu produciren, doch ermöglicht sie durch ihr Spiel die Erweckung von Tiefenvorstellungen. Einäugige bestehen den Hering'schen Versuch nicht«¹⁾.

Wenn man durch Prismen Doppelbilder erzeugt, so ist die Fixation stets eine monoculare, wenn man auch stets binocular zu fixiren glaubt. Benutzt man zur Doppelbilderzeugung eine Kerze, wobei das obere Doppelbild fixirt wird, so ist diese Fixation eine monoculare, die untere Flamme wird einfach im indirecten Sehen wahrgenommen. Beim Fehlen sonstiger Kriterien für eine Localisation im Raume, sind wir geneigt, anzunehmen, dass die im indirecten Sehen wahrgenommene Kerze im Horopter liege, d. h. an jener Stelle im äußeren Raume, von welcher gleichzeitig Impulse zu correspondirenden Netzhautstellen abfließen können. Das eine in Betracht kommende Moment ist also die zwangsweise Verlegung in den Horopter, da die disparaten Doppelbilder, die eine andere Localisation erzwingen würden, bei dieser Art eigentlich monocularen Sehens fehlen. Dieses wird durch das Erfahrungsmotiv bestimmt, »dass wir stets solche Objecte als im Gesichtsfelde vorhanden uns vorstellen, wie sie vorhanden sein müssten, um unter den gewöhnlichen normalen Bedingungen des Gebrauches unserer Augen denselben Eindruck auf den Nervenapparat hervorzubringen«. Außer den Momenten, die der binocularen Bildentstehung angehörend auf den monocularen Seheact herüberwirken, kommen für die Ortsbestimmung im Sehen mit einem Auge die ebenfalls dem binocularen Sehen ursprünglich angehörenden Convergenzempfindungen in Betracht. Bei einer analysirenden Prüfung des mechanischen Zwanges, unter welchem die Bewegungen der Augen stehen, sind drei bestimmende Factoren in Erwägung zu ziehen, das Fusionsbestreben, die Accommodations- und die Conver-

1) Sachs, Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 1. 1890. S. 201.

genzempfindung¹⁾. Jener Zwang steht, wie es gewisse pathologische Beobachtungen sehr wahrscheinlich machen, unter dem Einflusse zweier Bewegungscentren, eines für die associirten und eines für die accommodativen Bewegungen²⁾.

Nachdem schon Joh. Müller eine unlösbare Verbindung von Convergenz und Accommodation angenommen hatte³⁾, musste es wahrscheinlich erscheinen, dass bei monocularem Sehen die Gesamtempfindung, in welche die Accommodationsempfindung des percipirenden Auges, die Druckempfindung des bulbus in seinem Verhältniss zur Tenon'schen Kapsel, und die Convergenzempfindung dieses und des anderen Auges als Bestandtheile eingehen, ein Hilfsmittel der monocularen Tiefenlocalisation bilde. Da zeigte Volkmann⁴⁾, dass jene unlösbare Verbindung nicht bestehe, was Donders⁵⁾ bestätigte. Aber die Curven, in denen dieser die Verhältnisse der relativen Accommodation ausdrückte, fanden nicht die Zustimmung Nagel's, auf dessen Veranlassung Biesinger die Frage von neuem behandelte⁶⁾. Dann prüften Halsch und Pereles die Frage mit dem haploskopischen Apparate, den Hering zu seinen Raumsinnuntersuchungen benutzt hatte⁷⁾. Hierbei ergab sich, dass der Zuwachs der maximalen Accommodation, welche bei gleichmäßiger Convergenzzunahme hervorgebracht werden kann, der zugehörigen latenten Accommodation direct proportional ist, und dass umgekehrt auch der Zuwachs der maximalen Entspannung der Accommodation, welche bei gleichmäßiger Convergenzabnahme aufgebracht werden kann, der latenten Entspannung wiederum proportional ist. Was die Einstellung des Auges beim monocularen Sehen anbetrifft, so zeigte Woinow⁸⁾, dass das Auge, wenn es Gegenstände, die in verschie-

1) Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 2. S. 342; XXXV. 1. S. 137; XXXV. 4. S. 333.

2) Bericht über den internationalen Ophthalmologencongress. Heidelberg 1888. S. 30.

3) Beiträge zur vergleich. Physiologie des Gesichtssinnes. 1826. S. 276.

4) Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie d. Gesichtssinnes. 1836. S. 148.

5) Die Anomalien d. Refraction u. Accommodation. Ed. Becker. Wien 1866.

6) Untersuchungen zur Accommodation und Convergenz der Blicklinien. Inaug.-Diss. Tübingen 1869.

7) Arch. f. Ophthalm. XXXV. 4. 1889. S. 84—115.

8) ibid. XVI. 1870. S. 206.

denen Entfernungen liegen, abwechselnd fixirt, nicht nothwendig Zuckungen erleiden muss, sondern nur seine Accommodation ändert, nämlich dann, wenn alle fixirten Gegenstände in einer und derselben Richtung liegen, welche mit der Gesichtslinie zusammenfällt. Dass aber auch die Accommodationsänderung allein eine Localisationsverschiebung erzeugen kann, geht aus dem Auftreten von Makropsie bei Atropineinträufelung, von Mikropsie bei Application von Eserin in den Conjunctivalsack hervor. Das ist deshalb nicht auffällig, weil alle Verschiebungen des Blickpunktes psychischen Factoren untergeordnet sind. Bevor eine Blickbewegung beginnt, ist der Ort, welcher das Ziel derselben bildet, bereits im Bewusstsein und von der Aufmerksamkeit erfasst und die Lage dieses Ortes im Sehraume bestimmt die Richtung und GröÙe der Blickbewegung, wie Hering ausführte. Die weitere Besprechung der Convergenzerscheinungen würde eine Erörterung der Theorien der identischen und correspondirenden Netzhautstellen fordern, ohne welche diese Bewegungserscheinungen nur unvollkommen erklärbar sind.

Auf ein anderes weniger wesentliches Hilfsmittel macht Boettcher¹⁾ aufmerksam, indem er die Folgen der Raddrehung für die monoculare Tiefenwahrnehmung entwickelt. Das Sehen mit einem Auge gibt nur über Höhen- und Breitenabstand directen Aufschluss. Aber bei der Vereinigung von Punktbildern zu Linien liefert die Neigung ihrer Netzhautbilder gegeneinander die Grundlage der Linearperspective, die auf monocularem Sehen beruht und mit Hülfe der Schattirung, der scheinbaren GröÙe und relativen Entfernung die optische Täuschung der Körperlichkeit durch Vermittlung nur einer Netzhaut ermöglicht. Wenn das Auge aus einer Primärstellung in eine Tertiärstellung übergeht, ohne eine physiologisch-optische Unterstützung als die allenfalls veränderte Accommodationsempfindung, wenn es also den Netzhauthorizont und gleichzeitig die zur Medianebene parallele Ebene verlässt, so gewinnt es trotz der erfolgenden Raddrehung, mittelst deren es seinen horizontalen Meridian auf eine schräg angeschaute Horizontale einstellt, keineswegs daraus die Vorstellung der Horizontalität der letzteren und verliert nicht den Eindruck der Verticalität derjenigen Senkrechten, deren

1) Arch. f. Ophthalm. XII. 2. 1866. S. 79.

Bild doch nun schräg zum verticalen Meridian durch die fovea läuft. Es sieht nur, dass beide Linien einen nach dem Auge offenen stumpfen Winkel einschließen; die psychische Deutung entscheidet sich für eine gewisse Stabilität der Verticallinien. Derselbe Einfluss, den hier die psychische Verarbeitung auf die anscheinend anomalen physiologischen Vorgänge hat, zeigt sich auch bei der Verwerthung der Zerstreuungskreise für unser Sehen. Zunächst ist zu bemerken, dass diese nicht allein die Genauigkeit der Gesichtseindrücke im peripheren Sehen herabsetzen, sondern dass in derselben Richtung die Irradiation wirkt. Volkmann nahm an, dass diese für alle Sehwinkelgrößen constant sei, was Funke bestritt. Damit die Zerstreuungskreise bemerkt werden können, müssen sie überhaupt breiter sein als die Irradiationskreise. Durch dieses constante Auftreten des Irradiationswinkels resultirt eine größere als thatsächlich vorhandene Sehschärfe, wodurch der minimale Sehwinkel sogar negativen Werth erhalten kann.

Eine Sehschärfebeobachtung war auch für Albrecht v. Graefe die Veranlassung, zum ersten Male die Größe der Zerstreuungskreise in ihrer Beziehung zu den verschiedenen Refraktionszuständen zu untersuchen. Er hatte beobachtet, dass stark hypermetropische Individuen einen ziemlich feinen Druck mit unbewaffnetem Auge in großer Nähe lesen können, wobei Myopie dadurch ausgeschlossen ist, dass Convexgläser dieselbe Fähigkeit für größere Entfernung und feineren Druck erzielen. Bei Berechnung der Zerstreuungskreise im hypermetropischen nicht accommodirten Auge kam er zu dem Resultate, dass hier die Zerstreuungskreise langsamer wachsen als die Netzhautbilder, während im emmetropischen das Verhältniss der beiden dasselbe bleibt. Donders führte dies weiter aus¹⁾, und betonte dabei die Convergenz und die mit ihr unlöslich verbundene Pupillenveränderung; die Zerstreuungskreise werden noch verkleinert durch theilweises Schließen der Lidspalte. Donders suchte damit den von anderer Seite angenommenen psychischen Einfluss zu einer Unterdrückung der Zerstreuungskreise zu umgehen²⁾. »Das Unter-

1) Donders, Anomalien der Refraction und Accommodation. Wien 1866. S. 217.

2) Albrecht v. Graefe, Arch. f. Ophthalm. II. 2. S. 167.

drücken von Zerstreuungskreisen ist eine in der Physiologie bisher heimathlose, aber vom klinischen Standpunkte nicht zu entbehrende Auskunft der Augenärzte für so viele bekannte Erfahrungen¹⁾. Donders erkennt auch den Einfluss des regulären Astigmatismus, der nach bestimmten Richtungen die Größe der Zerstreuungskreise vermindern muss, an, und den Einfluss der Erfahrung, die aus dem unvollkommenen durch Zerstreuungskreise gestörten Bilde die wahre Gestalt der Objecte abstrahiren könne. Das günstige Wachstumsverhältniss im hypermetropischen Auge gilt aber nur, wenn dieses nicht accommodirt ist, und es kann, je nach dem Grade der Hypermetropie, vollständig verschwinden. Mauthner kehrt übrigens in seinen »Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges«²⁾ zur alten Graefe'schen Ansicht von der psychischen Unterdrückung der Zerstreuungskreise zurück. Außerdem hat Badal³⁾ die Theorie der Zerstreuungskreise und ihr Verhältniss zur Sehschärfe behandelt, ausgehend von der Voraussetzung, dass in Zerstreuungskreisen gesehene Punkte dann als gesondert wahrgenommen werden, wenn jene Kreise sich nicht decken. Bei anderer Gelegenheit⁴⁾ gibt er für die Zerstreuungskreise sehr einfache Formeln und zeigt, wie aus ihrer Größe der Pupillendurchmesser sich ableiten lässt. Nagel stellte den Satz auf⁵⁾, dass der Zerstreuungskreis dem Accommodationserforderniss und dem Correctionsglase der Ametropie, dieses für den vorderen Brennpunkt berechnet, proportional sei.

Am eingehendsten hat Salzmann diese Verhältnisse behandelt. Auch seine Berechnungen⁶⁾ sind freilich ungenau, weil er statt der Reductionsfläche des schematischen Auges die des reducirten benutzt. Daher wird die Verschiebung der Knotenpunkte nach vorne und die Verschiebung des einen der Hauptpunkte nach hinten, wie dies nach Nagel bei der Accommodation stattfindet, nicht berücksichtigt, ebenso vernachlässigt er den von Thomas Young ent-

1) Schuleck, Arch. f. Ophthalm. XXV. 3. 1882. S. 167.

2) Wien 1876. S. 332.

3) Étude d'optique physiol. Annales d'oculistique 1880. Tome 83. S. 21.

4) Annales d'oculistique. Vol. 75. S. 290.

5) Nagel, X. Cap. Die Anomalien der Refraction und Accommodation in Graefe's Handb. VI. S. 455.

6) Arch. f. Ophhthalm. XXXIX u. XL.

deckten physiologischen Astigmatismus. Mit diesen Vereinfachungen erhält er für den Durchmesser eines Zerstreuungskreises die Formel:

$$\varrho = p \left(1 - \frac{l}{f_2} + \frac{l}{na} \right),$$

in der die Objectentfernung mit a bezeichnet ist, f_2 ist die hintere Brennweite, l die Achsenlänge des reducirten Auges, n der Brechungsindex, und p der Halbmesser der Pupille. Indem er die Formel für die drei speciellen Fälle der Hypermetropie, der Myopie und der Emmetropie discutirt, kommt er zu dem Satze, dass in einem für endliche positive Entfernung eingestellten Auge, gleichviel ob es sich um einen entsprechenden Grad von Myopie, oder um ein für diese Entfernung accommodirtes schwaches myopisches, emmetropisches oder hypermetropisches Auge handelt, die Zerstreuungskreise rascher als die Objectsentfernungen diesseits des Punktes, für den das Auge eingestellt ist, wachsen, oder jenseits desselben abnehmen¹⁾. Die Formel gilt auch für Augen im Zustande der Accommodationsruhe und für solche mit Achsenkrümmungs- oder Indexametropie. Wenn man in diese Formel die Entfernung, für die das Auge eingestellt ist, einführt, so erhält man die Formel:

$$\varrho = \frac{pl}{n} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a_0} \right)$$

in der $\frac{1}{a_0}$ den Grad der Einstellung des Auges, in Dioptrien gemessen, bedeutet, während $\frac{1}{a}$ der Accommodationsfactor ist, der das emmetropische Auge für den den Zerstreuungskreis entwerfenden Punkt einstellen würde. Aus dieser Formel folgert Salzmann, dass der Zerstreuungskreis der Pupillenweite, der Achsenlänge und dem Einstellungsfehler direct proportional, dem Brechungsindex umgekehrt proportional sei. Wenn man unter denselben Vernachlässigungen wie vorher die Größe des Netzhautbildes berechnet, so findet man für das deutlich entworfene und für das in Zerstreuungskreisen gesehene Bild dieselbe Größe, und wenn man die Formeln für die Größe der Zerstreuungskreise mit der für die Größe des

1) Mir scheinen Salzmann's Ableitungen gerade für das hypermetrop. Auge zweifelhaft zu sein.

Netzhautbildes combinirt, so kommt man zu dem überraschenden Resultate, dass der kleinste Distinctionswinkel beim Sehen in Zerstreuungskreisen unabhängig von Achsenlänge und Brechungsindex, somit unabhängig vom dioptrischen Baue des Auges ist. Er ist nur abhängig von der Pupillenweite, dem Einstellungsfehler und der Entfernung des Objectes und ist diesen Größen direct proportional.

So wenig exact die durchaus primitiven Rechnungen Salzmann's sind, so sind sie doch annäherungsweise mit der Erfahrung in Einklang und schließen eine Art der Perception, wie sie zur Gültigkeit von Kirschmann's Ansicht nothwendig wäre, direct aus. In der That haben die Bilder des indirecten Sehens nur den Zweck, scharf präcisirte Bewegungsimpulse auszulösen; ihre Wahrnehmbarkeitsverhältnisse stehen in einer gewissen Analogie zur Perception der Doppelbilder. Wie Volkmann¹⁾ zeigte, findet in der Wahrnehmung derselben eine Vereinfachung statt, die psychischen Ursprunges ist, indem sie Erfahrungen über die reale Einheit der Gesichtsobjecte voraussetzt, die erst in der individuellen Entwicklung der räumlichen Wahrnehmung erworben ist. Es enthalten die einzelnen zur Verschmelzung kommenden Bilder bei weitem mehr als das resultirende Bild, aber das wegfallende geht nicht verloren, sondern wird vielmehr zur Erzeugung des körperlichen Eindruckes benutzt. So werden auch die Zerstreuungskreise nicht direct wahrgenommen und können doch von wesentlicher Bedeutung für unsere Wahrnehmungsacte werden. Diese Bedeutung ist in der Theorie Wundt's²⁾ von den retinalen Localzeichen indirect gesehener Punkte vollkommen entwickelt. Denn jene Wirkung der Zerstreuungskreise führt zu der Annahme, dass sensorische und motorische Effecte der Lichteinwirkung an verschiedene Endorgane in der Retina geknüpft seien, eine Annahme, die eher für als gegen die Theorie der complexen Localzeichen spricht. Denn einen Theil des hier erforderlichen Beweises hat bereits Gudden erbracht in der Auffindung der Centren, die in den Vierhügeln Opticuserregungen auf die Oculomotoriusbahnen übertragen. Ich weiß nicht, ob die Frage nach der functionellen Verschiedenheit der Opticusfasern verschiedenen Querschnittes endgültig entschieden ist.

1) v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. V. 2. 1859.

2) Physiol. Psychol. 4. Aufl. 2. Bd. S. 210.

Behauptet wurde jedoch, dass die gröberen derselben der motorischen Reflexleitung dienten.

Kirschmann gibt eine Ableitung der Parallaxe, aus der er folgert, dass der Werth derselben sogar für eine Accommodationsbreite von 2,5 Dioptrien, bei der der Nahpunkt in 40 cm liegt, und für 1° Winkelabstand von der Fixationslinie nicht weniger als 1° 34' betrage, also sicher in den Wahrnehmbarkeitsbereich falle. Die Zerstreuungskreise sind jedoch nur dann wirkliche Kreise, wenn sie centrisch um die Netzhautmitte zu liegen kommen, in anderen Fällen sind sie auf einer Hohlkugelfläche sich abbildende ellipsenähnliche Projectionen der Pupille, und ihre Mittelpunkte sind durchaus nicht immer die Projectionen des Pupillencentrums. Die Zerstreuungskreise der mit dem Pupillencentrum in einer Geraden, der Visirlinie, liegenden Objectpunkte decken sich um so vollständiger, je kleiner die Pupille ist. Die von Helmholtz über das Decken von Zerstreuungskreisen aufgestellten Sätze gelten ferner nur für die Hauptvisirlinien, für das indirecte Sehen nur bei punktförmiger Pupille. Man kann aber nach Helmholtz' Formulirung des Satzes über den Gang eines Strahles, der durch den Mittelpunkt des Hornhautbildes der Pupille geht, fälschlich annehmen, derselbe bilde bis zum Netzhautpunkte eine gerade Linie, welchen Irrthum allerdings seine Fig. 63¹⁾ unterstützt.

Ohne weiter auf die Abbildung in Zerstreuungskreisen einzugehen, bieten die Einflüsse derselben auf die Wahrnehmung noch eine Reihe beachtenswerther Punkte. So können sie für das binoculare Sehen in Betracht kommen, das trotz Zerstreuungskreisen auf der einen Retina insofern möglich ist, als von je einem Objectpunkte mindestens auch identische Netzhautpunkte der beiden Augen beleuchtet werden. Es kommt somit als Bedingung für das binoculare Einfachsehen nicht auf die gleiche Exactheit der Retinabilder, sondern darauf an, dass in den beiderseitigen Sinnesempfindungen identische Projectionslinien enthalten sind. Die Verwirrung in der Projection beschränkt sich auf die Gruppe der von den einzelnen Zerstreuungskreisen umfassten Sehelemente. Was außerhalb deren Gebiet liegt, kommt ungestört in gewohnter Weise zur Geltung.

1) *Physiol. Optik*, 2. Aufl. S. 119.

Bei dem innigen Zusammenhange der Accommodationsempfindungen mit den Convergenzempfindungen ist nach dieser Richtung eine geschlossene Darstellung des monocularen Sehactes hier unmöglich, und die Lehre von den Zerstreuungskreisen ist auch nach ihrer rechnerischen Seite bis jetzt nur andeutungsweise ausgebildet. Durch die Verwerthung der Zerstreuungskreise beim Sehen mit ametropen Augen und durch die Einführung des Uebungsfactors, der, wie die Ophthalmologie zeigt, einer streng gesetzmäßigen Entwicklung unterworfen ist, tritt jene Verwerthung in eigenartige Beziehungen zur Lehre von der Aufmerksamkeit. Die verschiedenen Formen des Astigmatismus scheinen dagegen auf die monoculare Raumwahrnehmung ohne Einfluss zu sein.

Das Ergebniss dieser Untersuchung ist demnach, dass eine monoculare Raumwahrnehmung vorhanden ist. Die Motive, welche in den oben mitgetheilten Tabellen eine gewisse Constanz der Localisation in einer annähernd constant bleibenden Fläche bedingen, dürften aber ursprünglich dem binocularen Sehacte angehören und erst secundär das monoculare Sehen bestimmen. Da bei diesen Versuchen keine Isolirung derjenigen Factoren, die nur im monocularen Sehacte auftreten, erreichbar ist, so sind die Fallversuche überhaupt für oder gegen die Existenz von Accommodationsempfindungen nicht zu verwenden. Auch steht einer solchen Verwerthung wohl schon der Umstand im Wege, dass in Folge der Fallgeschwindigkeit der Sehobjecte die etwaigen Einflüsse der Accommodation und vielleicht selbst die der Zerstreuungskreise nicht Zeit haben zur Geltung zu kommen. Den Fallversuchen bleibt so nur die Bedeutung einer allgemeinen Orientirung über die auch beim Ausschluss von Accommodations- und Augenbewegungen bestehenden Motive einer freilich unbestimmten Tiefenlocalisation¹⁾.

1) Die vorliegende Abhandlung ist bereits am 28. Februar d. J., also vor dem Erscheinen der Abhandlung »Zur Theorie der räumlichen Gesichtswahrnehmungen« im 1. Hefte des vorliegenden Bandes der Philos. Studien abgeschlossen worden.

V i t a.

Der Verfasser dieser Arbeit, Robert Müller, wurde als Sohn des Landgerichtsraths Wilhelm Müller am 12. September 1875 zu Gießen geboren. Er besuchte die Gymnasien zu Worms und Gießen, wovon letzteres er am 12. März 1894 mit dem Reifezeugniss verließ. Er war auf der Universität seiner Heimathstadt vier Semester als Studirender der Medicin und Naturwissenschaften immatriculirt, am 13. Februar 1896 bestand er die medicinische Vorprüfung; er bearbeitete in diesem Jahre die academische Preisaufgabe: »die Theorie der Materie bei Kant«. Die Arbeit erhielt am 1. Juli 1897 den vollen academischen Preis. Das Sommersemester 1896 verbrachte er in München. Im Herbst 1896 bezog er die Universität Leipzig, im wesentlichen, um die Gelegenheit zu gewinnen, sich einen genügenden Einblick in das Gebiet der physiologischen Psychologie zu verschaffen. Er arbeitete bis zu Ostern 1896, wo er die Universität Leipzig verließ, im psychologischen Institut, aus dem auch diese Arbeit hervorging. Für mannigfache Förderung ist er Herrn Professor Wundt zu tiefstem Danke für immer verpflichtet. Ferner möchte er es nicht unterlassen, den Herren Professoren Curschmann, Sattler und Birch-Hirschfeld für ihr Wohlwollen und vielfache zum Theil persönlich empfangene Anregungen zu danken. Am 26. Mai 1898 promovierte er auf Grund dieser Arbeit bei der philosophischen Facultät zu Leipzig.

Müller, Robert

Ueber Raumwahrnehmung beim monocularen indirecten Sehen

Leipzig 1898

Math.a. 180 hg

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11899960-2